
СПРАВОЧНИК
ПО НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРО-УСТАНОВОК И ЭЛЕКТРО-АВТОМАТИКИ

6П2. 1(083)
С74

УДК 621. 316.17+621.311.4(03)

В справочнике рассмотрены методики, объемы и нормы приемо-сдаточных и профилактических испытаний электрооборудования и устройств электроавтоматики промышленных предприятий, городских и сельских электроустановок. Приведены некоторые приближенные расчеты, используемые в практике наладочных работ. Объем и нормы испытаний даны в соответствии с ГОСТами, действующими «Правилами устройства электроустановок» и другими директивными материалами.

Справочник рассчитан на широкий круг работников, занятых наладкой и эксплуатацией электрических станций, подстанций, сетей и электрооборудования промышленных предприятий. Книга может служить также учебным пособием для практических занятий студентов высших и средних электротехнических учебных заведений.

Авторы:

С. Е. Васильев, Б. М. Забарский, Е. И. Забокрицкий, Б. А. Холодовский

Рецензент

канд. техн. наук *Б. А. Никитин*

Редакция справочников

Зав. редакцией Ю. Г. Абанина

3—3—10
342—72М

ПРЕДИСЛОВИЕ

Испытательно-наладочные работы выполняются как в период изготовления оборудования (заводские типовые и контрольные испытания), так и в процессе монтажа (приемо-сдаточные испытания и наладка), а также последующей эксплуатации (профилактические испытания, испытания после капитальных ремонтов и т. п.).

Вопросы наладки электроустановок и электроавтоматики широко освещены в ведомственных директивных материалах, инструкциях, периодической литературе и учебных пособиях. Требования по объемам и нормам испытаний изложены в соответствующих ГОСТах и правилах («ПУЭ», «ПТЭ электростанций и сетей», «ПТЭ электроустановок промышленных предприятий» и др.). Методические указания по проведению испытательно-наладочных работ многих видов электроустановок и их элементов содержатся в специальных ГОСТах, в серии инструкций БТИ треста ОРГРЭС и в других источниках.

Попытка создать пособие, которое содержало бы достаточно полные сведения о наладке основных видов электрооборудования и автоматики, была сделана авторами в первом издании справочника, вышедшего под тем же названием в 1966 г. Настоящая книга является изданием вторым, переработанным и дополненным.

Необходимость значительной переработки справочника вызвана появлением в последние годы новых ГОСТов на электрическое оборудование, условных обозначений, а также новых образцов аппаратуры, применяемой в электротехнических установках.

Главы I, VIII, IX, XI — XVI переработаны Б. А. Холодовским, главы II—VI, X и XVII — Е. И. Забокрицким и Б. А. Холодовским, глава VII — С. Е. Васильевым.

Все замечания и пожелания авторы просят направлять по адресу: г. Киев, ул. Репина, 3, издательство «Наукова думка».

Глава I

ОБЩИЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица I.1

Некоторые единицы Международной системы СИ (ГОСТ 9867-61)

Величина	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ			
Длина	метр	*м*	
Масса	килограмм	*кг*	
Время	секунда	*сек*	
Сила электрического тока	ампер	*а*	
Термодинамическая температура	градус Кельвина	°K	
Сила света	свеча	*св*	
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ			
Плоский угол	радиан	*рад*	
Телесный угол	стерадиан	*стер*	
ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ			
Механические единицы			
Площадь	квадратный метр	$м^2$	(1 *м*) · (1 *м*)
Объем	кубический метр	$м^3$	(1 *м*) · (1 *м*) · (1 *м*)
Частота	герц	*гц*	(1) : (1 *сек*)
Скорость линейная	метр в секунду	*м/сек*	(1 *м*) : (1 *сек*)
Скорость угловая	радиан в секунду	*рад/сек*	(1 *рад*) : (1 *сек*)
Скорость массовая	килограмм на квадратный метр в секунду	$кг/(м^3 \cdot сек)$	(1 *кг*) : ($1 м^2$) × × (1 *сек*)
Ускорение линейное	метр на секунду в квадрате	$м/сек^2$	(1 *м*) : ($1 сек^2$)

Величина	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
Ускорение угловое	радиан на секунду в квадрате	*рад/сек*^{2}	(1 *рад*) : (1 *сек*^{2})
Плотность (объемная масса)	килограмм на кубический метр	*кг/м*^{3}	(1 *кг*) : (1 *м*^{3})
Удельный объем	кубический метр на килограмм	*м*^{3}*/кг*	(1 *м*^{3}) : (1 *кг*)
Объемный расход	кубический метр в секунду	*м*^{3}*/сек*	(1 *м*^{3}) : (1 *сек*)
Массовый расход	килограмм в секунду	*кг/сек*	(1 *кг*) : (1 *сек*)
Сила (в частности, сила тяжести — вес)	ньютон	*н*	(1 *кг*)·(1 *м*) : (1 *сек*^{2})
Удельный вес	ньютон на кубический метр	*н/м*^{3}	(1 *н*) : (1 *м*^{3})
Момент инерции (динамический)	килограмм-метр в квадрате	*кг·м*^{2}	(1 *кг*)·(1 *м*^{2})
Работа; энергия	джоуль	*дж*	(1 *н*)·(1 *м*)
Мощность	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Давление (механическое напряжение)	ньютон на квадратный метр	*н/м*^{2}	(1 *н*) : (1 *м*^{2})
Поверхностное натяжение	ньютон на метр	*н/м*	(1 *н*) : (1 *м*)
Импульс силы	ньютон-секунда	*н·сек*	(1 *н*)·(1 *сек*)
Количество движения	килограмм-метр на секунду в квадрате	*кг·м/сек*^{2}	(1 *кг*)·(1 *м*) : (1 *сек*^{2})
Динамическая вязкость	ньютон-секунда на квадратный метр	*н·сек/м*^{2}	(1 *н*)·(1 *сек*) : (1 *м*^{2})
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	*м*^{2}*/сек*	(1 *м*^{2}) : (1 *сек*)
Тепловые единицы			
Количество теплоты, термодинамический потенциал (внутренняя энергия, энтальпия и др.)	джоуль	*дж*	(1 *н*)·(1 *м*)

Величина	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
Удельная теплота (химической реакции, фазового превращения), удельная внутренняя энергия, удельная энтальпия	джоуль на килограмм	*дж/кг*	(1 *дж*) : (1 *кг*)
Теплоемкость системы	джоуль на градус	*дж/град*	(1 *дж*) : (1 *град*)
Тепловой поток	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Тепловая мощность (котла, печи, теплообменного аппарата)	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Поверхностная плотность теплового потока	ватт на квадратный метр	*вт/м*^{2}	(1 *вт*) : (1 *м*^{2})
Температурный градиент	градус на метр	*град/м*	(1 *град*) : (1 *м*)
Коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи	ватт на квадратный метр-градус	*вт/(м*^{2}*·град)*	(1 *вт*) : [(1 *м*^{2}) × (1 *град*)]
Коэффициент теплопроводности	ватт на метр-градус	*вт/(м·град)*	(1 *вт*) : [(1 *м*) × (1 *град*)]
Электрические и магнитные единицы			
Работа и энергия	джоуль	*дж*	(1 *н*)·(1 *м*)
Активная мощность	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Полная мощность	вольт-ампер	*ва*	(1 *в*)·(1 *а*)
Реактивная мощность	вольт-ампер реактивный (вар)	*вар*	(1 *в*)·(1 *а*)
Количество электричества (электрический заряд)	кулон или ампер-секунда	*к* или *а·сек*	(1 *а*)·(1 *сек*)
Плотность тока	ампер на квадратный метр	*а/м*^{2}	(1 *а*) : (1 *м*^{2})
Поток электрического смещения (поток электрической индукции)	кулон	*к*	(1 *а*)·(1 *сек*)
Электрическое смещение (электрическая индукция)	кулон на квадратный метр	*к/м*^{2}	(1 *к*) : (1 *м*^{2})
Линейная плотность электрического заряда	кулон на метр	*к/м*	(1 *к*) : (1 *м*)

Продолжение табл. 1.1

Величина	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
Разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила	вольт	в	(1 вт) : (1 а)
Напряженность электрического поля	вольт на метр	в/м	(1 в) : (1 м)
Электрическое сопротивление	ом	ом	(1 в) : (1 а)
Удельное электрическое сопротивление	ом-метр	ом · м	(1 ом) · (1 м)
Электрическая проводимость	сименс	сим	(1 а) : (1 в)
Удельная электрическая проводимость	сименс на метр	сим/м	(1 сим) : (1 м)
Электрическая емкость	фарада	ф	(1 к) : (1 в)
Объемная плотность электрического заряда	кулон на кубический метр	к/м^3	(1 к) : (1 м^3)
Электрический момент диполя	кулон-метр	к · м	(1 к) · (1 м)
Электрическая постоянная	фарада на метр	ф/м	(1 ф) : (1 м)
Магнитный поток	вебер	вб	(1 к) · (1 ом)
Магнитная индукция	тесла или вебер на квадратный метр	тл вб/м^2	(1 вб) : (1 м^2)
Индуктивность и взаимная индуктивность	генри	гн	(1 вб) : (1 а)
Магнитодвижущая сила и разность магнитных потенциалов	ампер или ампервиток	а ав	(1 а)
Напряженность магнитного поля	ампер на метр или ампер-виток на метр	а/м ав/м	(1 а) : (1 м)
Магнитное сопротивление	ампер на вебер или ампер-виток на вебер	а/вб ав/вб	(1 а) : (1 вб)
Магнитная постоянная	генри на метр	гн/м	(1 гн) : (1 м)

Таблица 1.2

Приставки для образования кратных и дольных единиц (ГОСТ 7663—55)

Приставка	Обозначения		Множитель, на который умножаются единицы системы СИ
	русские	латинские или греческие	
Тера	Т	T	10^{12}
Гига	Г	G	10^{9}
Мега	М	M	10^{6}
Кило	к	k	10^{3}
Гекто	г	h	10^{2}
Дека	да	da	10
Деци	д	d	10^{-1}
Санти	с	c	10^{-2}
Милли	м	m	10^{-3}
Микро	мк	μ	10^{-6}
Нано	н	n	10^{-9}
Пико	п	p	10^{-12}
Фемто *	ф	f	10^{-15}
Атто *	а	a	10^{-18}

* По решению Международного союза чистой и прикладной физики (1960 г.)

Таблица 1.3

Пересчетные значения некоторых единиц измерения

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ	Метрические (внесистемные)	Единицы СИ
Единицы длины		*Единицы массы*	
Микрон (мк)	1 микрометр (мкм) = 10^{-6} м	Тонна (т)	10^{3} кг
Ангстрем (Å)	0,1 нм = = $1 \cdot 10^{-10}$ м	Центнер (ц)	100 кг
Единица площади		*Единицы времени*	
Гектар (га)	10^{4} м^2	Сутки	86400 сек
Единица объема		Час	3600 сек
Литр (л)	$1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ м^3 = = 1,000028 дм^3	Минута	60 сек
		Единицы плоского угла	
		Градус (°)	$\frac{\pi}{180}$ рад = = 0,0174533 рад

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ
Минута (′)	$\frac{\pi}{108}\cdot10^{-2}$ рад = 2,90888×10^{-4} рад
Секунда (″)	$\frac{\pi}{648}\cdot10^{-3}$ рад = 4,84814×10^{-6} рад
Оборот	2π рад = 6,283185 рад
Прямой угол	$\frac{\pi}{2}$ рад = 1,5708 рад

Единицы частоты

Оборот в минуту (об/мин)	1/60 гц
Килогерц (кгц)	1000 гц
Период в секунду; Колебание в секунду; Оборот в секунду (об/сек)	1 гц

Единицы угловой скорости

Оборот в минуту (об/мин)	$\frac{\pi}{30}$ рад/сек
Оборот в секунду (об/сек)	2π рад/сек
Градус в секунду (°/сек)	$\frac{\pi}{180}$ рад/сек

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ

Единицы линейной скорости

1 м/мин	0,0167 м/сек
1 м/ч	278·10^{-6} м/сек
1 км/ч	0,278 м/сек
1 см/сек	0,01 м/сек

Единица линейного ускорения

1 см/сек^2	0,01 м/сек^2

Единицы плотности

1 т/м^3; 1 кг/дм^3; 1 г/см^3	1000 кг/м^3
1 кГ·сек^2/м^4	9,80665 кг/м^3
1 кг/л; 1 г/мл	999,972 кг/м^3

Единица измерения температуры

1° С	1° К

Единицы массового расхода

1 кг/ч	278·10^{-6} кг/сек
1 кг/мин	16,67×10^{-3} кг/сек
1 т/ч	0,278 кг/сек
1 г/сек	10^{-3} кг/сек

Единицы объемного расхода

1 м^3/ч	278·10^{-6} м^3/сек
1 л/ч	278·10^{-9} м^3/сек
1 л/мин	16,67·10^{-6} м^3/сек
1 дм^3/сек	10^{-3} м^3/сек
1 л/сек	1,000028·10^{-3} м^3/сек
1 см^3/сек	10^{-6} м^3/сек

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ

Единицы силы
(в частности веса, т. е. силы тяжести)

1 кГ (кгс)	9,80665 н
1 Т (тс)	9806,65 н
Дина (дин)	10^{-5} н

Единицы давления (механического напряжения)

1 бар	10^5 н/м^2
1 дин/см^2	0,1 н/м^2
1 кГ/см^2	98066,5 н/м^2
1 ат (атмосфера техническая)	98066,5 н/м^2
1 атм (атмосфера физическая)	101325 н/м^2
1 кГ/м^2	9,80665 н/м^2
1 кГ/мм^2	9,80665·10^6 н/м^2
1 мм рт. ст.	133,322 н/м^2
1 мм вод. ст.	9,80665 н/м^2

Единицы работы и энергии

1 кГ·м (кгс·м)	9,80665 дж
1 эрг	10^{-7} дж
1 вт·ч	3600 дж
1 квт·ч	3,6·10^6 дж
1 кал	4,1868 дж
1 ккал	4186,8 дж

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ

Единицы мощности

1 кГ·м/сек	9,80665 вт
1 л. с.	735,499 вт
1 эрг/сек	10^{-7} вт
1 ккал/ч	1,163 вт
1 кал/сек	4,1868 вт
1 квт	1000 вт

Электрические и магнитные единицы

1 в·сек	1 вб
1 в·ч	3600 вб
1 в/см	100 в/м
1 а·ч	3600 к
1 мкс (максвелл)	10^{-8} вб
1 гс (гаусс)	10^{-4} тл
1 гб (гильберт)	$\frac{10}{4\pi}$ а
1 э (эрстед)	$\frac{1}{4\pi}\cdot10^3$ а/м
1 а/см	100 а/м
1 ом (магнитный)	$\frac{10^9}{4\pi}$ а/вб
1 ком	10^3 ом

Таблица 1.4

Характеристика электроизоляционных материалов

Материал	Электрическая прочность, кв/мм	Относительная диэлектрическая проницаемость	tg δ при f = 50 гц и t = 20° C	Удельное электрическое сопротивление при t = 20° C, ом·см	Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Допустимая рабочая температура, °C	Плотность, г/см³	Механическая прочность, кг/см²			
								Разрыв	Изгиб	Сжатие	Удар
Асбестовая бумага	2—5	—	—	10^{6}	—	450	1,0—1,4	10	—	—	—
Асбобакелит	6—14	20—25	30—60	10^{10}	0,5	—	1,6—1,8	300	700	900	9
Асфальт естественный	13—16	2—4	1—5	10^{14}	—	—	1,1—1,3	—	—	—	—
Базальт	3—6	9—12	1,7—2	—	—	—	2,7—3,2	700	—	6000	—
Бакелитовые цилиндры	10—15	3,8—5	0,5—1,7	10^{16}	0,5—1,0	120	1,05—1,24	450	800	550	—
Бетон сухой	—	—	—	—	—	—	1,8—2,4	—	300	—	5
Бумага кабельная сухая	6—9	2,3—3,5	—	10^{15}			0,8				
Бумага кабельная, пропитанная маслом	10—25	3,4—3,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Воздух при температуре 20° C и давлении 760 *мм рт. ст.*	3—4	1,0	—	—	—	—	0,00121	—	—	—	—
Воск пчелиный	8—15	2,8—2,9	—	10^{13}	—	—	0,96	—	—	—	—
Гетинакс А и Б	10—15	7—8	4—10	10^{9}	2,8	150	1,3—1,4	900	1150	—	16—20
Дельта-древесина ДСПЭ-10	5—10	5—6	3,5	10^{11}	2	200	1,25—1,4	2400	—	1600	70
Дуб парафинированный	4—7	4,5—5	—	10^{12}	—	—	0,76	1000	600	300	—
Бук сухой	5—6	3—3,5	—	10^{13}	—	—	0,73	1300	670	350	—
Береза сухая	3—5	2—3	—	10^{10}	—	—	0,64	—	—	—	—
Карболит	10—12	3—5	—	10^{11}	—	120	1,1—1,2	—	—	—	—
Лакоткань	30—40	3,5—5	—	10^{11}	0,08	105	1,1—1,3	200	—	—	—
Масло трансформаторное	5—18	2—2,5	0,2—1	10^{17}	—	95	0,85—0,89	—	—	—	—
Миканит	15—30	4,5—6	—	10^{16}	—	—	2,2	—	—	—	—
Мрамор	3,5—5,5	8—10	0,5—10	10^{6}	0,2	100—200	2,7	—	200	1400	—
Оргстекло (метакрил)	17—18	3,2—3,6	5	10^{15}	0,09	60	1,18	650	500	1100	17
Парафин	15—30	2,2—2,3	—	10^{16}	—	—	0,9—0,93	—	—	—	—
Пластмасса К-21-22	13	—	9	10^{12}	0,25	—	1,4	300	500	1400	4,2
Пластмасса К-21-14	12	—	1,5	10^{12}	0,2	—	1,4	—	400	—	2,0
Полихлорвинил (винипласт) листовой	45	3,1—3,5	1,5—2	10^{13}	0,01	65	1,38	600	1000	1000	160
Резина листовая	10—15	2,6—3,5	0,5—2	10^{14}	—	—	1,3—1,8	—	—	—	—
Слюда мусковит	120—200	6—7	0,01—0,02	10^{14}	0	500	2,8—3,2	28	—	5000	—
Слюда флогопит	60—120	4—5,5	0,1—0,2	10^{12}	0	900	2,5—2,7	18	—	2500	—
Стеатит	20—30	5,5—6,5	0,2	10^{15}	0	—	2,6—2,8	650	1300	9500	—
Стекло	10—40	5,5—10	0,1—0,5	10^{11}	0	—	2,5—2,7	600	—	13000	—
Текстолит А и Б	2—6	—	—	10^{10}	2—2,5	120—130	1,3—1,4	600	1000	2000	25
Тиконд	15—20	60—80	0,2	10^{14}	—	—	3,8—3,9	—	1100	—	—
Фарфор	18—25	5—7,5	0,7—2,5	10^{14}	0—0,05	—	2,3—2,7	350	500	1400	20
Фибра	4—11	3,5	—	10^{10}	—	—	1,2—1,4	—	—	—	—
Шифер	1,5—3	4—16	—	10^{7}	0,6	200	2,7—2,9	200	500	900	—
Церезин	15	2,1—2,3	—	10^{16}	—	—	0,8—0,9	—	—	—	—
Эбонит	8—10	2,4—4,5	1—2	10^{17}	—	60	1,15—1,3	—	—	—	—
Электрокартон ЭМ	8—10	2,5—4,0	—	10^{9}	—	90	0,9—1,1	—	—	—	—

Таблица 1.5

Свойства проводниковых материалов

Материал	Удельное сопротивление при $t = 20°$ C, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент: электрического сопротивления, $ом \cdot град^{-1}$	Температурный коэффициент: линейного расширения, $м \cdot град^{-1}$	Температура плавления, °C	Временное сопротивление на разрыв, $кГ/мм^2$	Твердость по Бринелю H_B, $кГ/мм^2$	Плотность, $г/см^3$
Алдрей	0,031—0,035	0,004	—	1000	30—34	35	2,8
Алюминий	0,029	0,004	$0,024 \cdot 10^{-3}$	659	14—22	20	2,7
Бронза	0,021—0,04	0,004	$0,018 \cdot 10^{-3}$	900	50—60	60—70	8,8—8,9
Вольфрам	0,056	0,0046	$0,0045 \cdot 10^{-3}$	3500	415	350	18,7
Висмут	1,2	0,004	$0,013 \cdot 10^{-3}$	271	—	—	9,8
Графит	13,5	0,008	—	—	—	—	1,9—2,3
Кадмий	0,076	0,004	$0,029 \cdot 10^{-3}$	321	—	16	8,6
Константан	0,4—0,51	0,00005	$0,015 \cdot 10^{-3}$	1200	40	—	8,8
Латунь	0,05	0,002	$0,018 \cdot 10^{-3}$	960	40	60—100	8,4—8,7
Медь	0,0175	0,004	$0,017 \cdot 10^{-3}$	1083	25—40	35	8,9
Магний	0,04	0,0038	$0,026 \cdot 10^{-3}$	650	20	25	1,74
Манганин	0,42	0,00001[illegible]	—	[illegible]	55	—	8,14
Никель	0,09—0,12	0,006	[illegible]	[illegible]	30—50	80	8,8
Никелин	0,4—0,44	0,0003	—	1080	—	—	11,2
Нихром	1,1	0,0003	—	[illegible]	70	170	8,2
Олово	0,12	0,0044	$0,026 \cdot 10^{-[illegible]}$	232	3—5	5	7,3
Платина	0,09—0,11	0,00247	$0,009 \cdot 10^{-3}$	1770	21—35	55	21,2
Ртуть	0,95	0,0027	$0,09 \cdot 10^{-[illegible]}$	—[illegible]	—	—	13,8
Серебро	0,016	0,004	$0,019 \cdot 10^{-3}$	961	28—30	25	10,5
Сталь	0,13—0,3	0,005	$0,012 \cdot 10^{-3}$	1500	45—150	40—100	7,85
Свинец	0,217	0,00411	$0,029 \cdot 10^{-3}$	327	1,2—2,3	4	11,3
Сурьма	0,41	0,0037	—	630	—	30	6,67
Фехраль	1,2	0,0002	—	1450	—	90	7,6
Хромель	1,3	0,00004	—	1500	80	90	7,1
Цинк	0,06	0,0039	$0,029 \cdot 10^{-3}$	419	15—20	30	7,1
Чугун	0,5	0,0009	$0,0104 \cdot 10^{-3}$	1200	12—20	60	7,2
Железо	0,1—0,14	0,0045	—	1530	44	—	7,85

Таблица 1.6

Значение электрохимического эквивалента K

Материал	K, мг/а·сек	Материал	K, мг/а·сек
Медь	0,33	Алюминий	0,093
Никель	0,30	Серебро	1,1183
Железо	0,29	Свинец	1,0718
Цинк	0,34	Платина	1,009
Золото	0,68		

Таблица 1.7

Значения математических величин, применяемых в технических расчетах

Условное обозначение	Числовое выражение	Условное обозначение	Числовое выражение	Условное обозначение	Числовое выражение
π	3,14	$\sqrt[3]{2\pi}$	1,84526	$\varphi_{рад}$	$\frac{\pi}{180}\varphi^\circ = 0{,}01745\ \varphi^\circ$
$\frac{\pi}{4}$	0,78540	$\sqrt[3]{\frac{\pi}{2}}$	1,16245	$\sin 30^\circ$	$\cos 60^\circ = 0{,}5$
π^2	9,86960	$\sqrt[3]{\frac{2}{\pi}}$	0,86025	$\sin 45^\circ$	$\cos 45^\circ = 0{,}5\sqrt{2}$
π^3	31,00628	$\sqrt[3]{\pi}$	1,46459	$\sin 60^\circ$	$\cos 30^\circ = 0{,}5\sqrt{3}$
$\frac{1}{\pi}$	0,31830	$\pi\sqrt{2}$	4,44288	$\operatorname{tg} 30^\circ$	$\operatorname{ctg} 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$
$\frac{1}{\pi^2}$	0,10130	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$	0,39790	$\operatorname{tg} 60^\circ$	$\operatorname{ctg} 30^\circ = \sqrt{3}$
$\sqrt{\pi}$	1,77245	$\pi\sqrt{\pi}$	5,56683	$\sqrt{2}$	1,4142
$\sqrt{2\pi}$	2,50663	$\lg \pi$	0,49715	$\sqrt{3}$	1,7321
$\sqrt{\frac{\pi}{2}}$	1,25331	e	2,71828	$e^{\pm j90^\circ}$	$\pm j$
$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0,79788	$\frac{1}{e}$	0,36788	e^{j120°	$a = -0{,}5 \pm j0{,}5\sqrt{3}$
g	9,81	e^2	7,38906	e^{j240°	$a^2 = -0{,}5 - j0{,}5\sqrt{3}$
g^2	96,2361	$\frac{1}{e^2}$	0,13533		
$\sqrt{g}$	3,13209	$\sqrt{e}$	1,64872		
$\sqrt{2g}$	4,42945	$\sqrt[3]{e}$	1,39561		
$\frac{1}{2g}$	0,05097	$\lg e$	0,43429		
$2\sqrt{g}$	6,26418	$\ln N/\lg N$	2,3026		
$\lg g$	0,99167	$\lg N/\ln N$	0,4343		

Таблица 1.8

Значения тригонометрических функций (для расчета коэффициента мощности от 0,5 до 1,0)

cos φ	tg φ	sin φ	Угол φ	cos φ	tg φ	sin φ	Угол φ
1	0	0	0°	0,74	0,673	0,909	42°16′
0,99	0,143	0,141	8°06′	0,73	0,683	0,936	43°07′
0,98	0,203	0,199	11°29′	0,72	0,694	0,963	43°57′
0,97	0,251	0,243	14°04′	0,71	0,704	0,992	44°46′
0,96	0,292	0,280	16°16′	0,70	0,714	1,020	45°34′
0,95	0,329	0,312	18°12′	0,69	0,724	1,049	46°22′
0,94	0,363	0,341	19°57′	0,68	0,733	1,078	47°09′
0,93	0,395	0,368	21°34′	0,67	0,742	1,108	47°56′
0,92	0,426	0,392	23°04′	0,66	0,751	1,138	48°44′
0,91	0,456	0,415	24°30′	0,65	0,759	1,168	49°27′
0,90	0,484	0,436	25°51′	0,64	0,768	1,201	50°12′
0,89	0,512	0,456	27°08′	0,63	0,776	1,233	50°57′
0,88	0,540	0,475	28°21′	0,62	0,785	1,266	51°41′
0,87	0,567	0,493	29°32′	0,61	0,792	1,299	52°25′
0,86	0,593	0,510	30°41′	0,60	0,800	1,334	53°08′
0,85	0,620	0,527	31°47′	0,59	0,807	1,369	53°51′
0,84	0,646	0,543	32°52′	0,58	0,815	1,405	54°33′
0,83	0,672	0,558	33°54′	0,57	0,822	1,442	55°15′
0,82	0,698	0,572	34°55′	0,56	0,829	1,480	55°57′
0,81	0,724	0,586	35°54′	0,55	0,835	1,519	56°38′
0,80	0,750	0,600	36°52′	0,54	0,842	1,559	57°19′
0,79	0,776	0,613	37°49′	0,53	0,848	1,600	58°00′
0,78	0,802	0,626	38°44′	0,52	0,854	1,643	58°40′
0,77	0,828	0,638	39°39′	0,51	0,860	1,686	59°20′
0,76	0,855	0,650	40°32′	0,50	0,866	1,732	60°00′
0,75	0,882	0,661	41°25′				

Таблица 1.9

Условные графические обозначения в электрических схемах

Наименование	Обозначение
Род тока и напряжения (ГОСТ 2.750-68)	
Ток постоянный. Напряжение постоянное	—
Ток переменный. Напряжение переменное	~
Полярность отрицательная	−
Полярность положительная	+
Соединение электрическое, разъемное и неразъемное. Общее обозначение	•
Если необходимо подчеркнуть, что электрическое соединение осуществляется разъемными элементами (винтом, зажимом и т. п.), то используют одно из обозначений	○ или ⌀
Заземление	
Корпус (машины, аппарата, прибора)	
Линия электрической связи, провод, кабель, шина. Общее обозначение	
Цепь из двух, трех и *n* линий электрической связи	Однолинейное многолинейное
Провода, кабели и жгуты, пересекающиеся, электрически не соединенные	

Наименование	Обозначение
Линии электрической связи, пересекающиеся, электрически соединенные	Однолинейное многолинейное
Ответвление линий электрической связи: одной линии	
двух линий	или
Линия электрической связи, провод, кабель экранированные	или
Примечание. Знак экранирования следует наносить на изображение провода или кабеля в начале и в конце его, а при необходимости и в промежутках между началом и концом. При частичном экранировании провода следует использовать обозначение	
Линии электрической связи, осуществленные скрученными проводами	
Линия электрической связи, осуществленная гибким проводом	
Повреждение изоляции: между линиями электрической связи, между проводами	
на корпус	
на землю	

Наименование	Обозначение
Машины электрические (ГОСТ 2.722-68)	
Машина трехфазная переменного тока с короткозамкнутым ротором	
Статор с трехфазной распределенной обмоткой: соединенной в треугольник	
соединенной в звезду	
Машина электрическая. Общее обозначение. Примечание. Внутри окружности можно указывать следующие данные:	
род машины (генератор *Г*, двигатель *М* или *Д*, возбудитель *В*, тахогенератор *ТГ*, сельсин C_c и др.); род тока; число фаз или вид соединения обмоток. Пример — генератор трехфазный	Г 3~
Электродвигатель трехфазный с соединением обмоток статора в звезду	Д Y

Наименование	Обозначение
Асинхронная трехфазная машина с фазным ротором. Обмотка ротора соединена в звезду, а обмотка статора — в треугольник	Упрощенное Развернутое
Машина асинхронная трехфазная с шестью выведенными концами фаз обмотки статора и короткозамкнутым ротором	
Сельсин-датчик, сельсин-приемник контактные однофазные: с обмоткой возбуждения на статоре и с обмоткой синхронизации на роторе, соединенной в звезду	
с обмоткой возбуждения на явно выраженных полюсах ротора и с соединенной в звезду обмоткой синхронизации на статоре	
с распределенной обмоткой возбуждения на роторе и соединенной в звезду обмоткой синхронизации на статоре	
Сельсин дифференциальный контактный (с контактными кольцами), с соединенными в звезду обмотками статора и ротора	

Наименование	Обозначение
Сельсин-датчик, сельсин-приемник бесконтактные (без контактных колец) с соединенной в звезду обмоткой статора	
Машина синхронная трехфазная явнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе, обмотка статора соединена в звезду с выведенной нейтральной (средней) точкой	
Машина синхронная трехфазная неявнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе, обмотка статора соединена в треугольник	
Автотрансформатор трехфазный поворотный (потенциал-регулятор)	
Трансформатор трехфазный поворотный (фазорегулятор)	Однолинейное / Многолинейное
Обмотка добавочных полюсов, обмотка компенсационная	
Обмотка статора (каждой фазы) машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока	

Наименование	Обозначение
Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения	
Машина постоянного тока с независимым возбуждением	
Машина постоянного тока с последовательным возбуждением	
Машина постоянного тока с параллельным возбуждением	
Машина постоянного тока со смешанным возбуждением	
Двигатель постоянного тока реверсивный с двумя последовательными обмотками возбуждения	
Усилитель электромашинный с поперечным потоком и несколькими (тремя) обмотками управления	

Наименование	Обозначение
Усилитель электромашинный с продольным потоком и несколькими (тремя) обмотками управления	
Двигатель коллекторный однофазный последовательного возбуждения	~
Источники тока электрохимические (ГОСТ 2.742-68)	
Элемент гальванический или аккумуляторный Примечание. Знаки полярности можно не указывать	
Батарея из аккумуляторных элементов с двойным элементным коммутатором (например, напряжение 120 *в*, емкость 840 *а·ч*)	120в / 840а·ч
Приборы электроизмерительные (ГОСТ 2.729-68)	
Приборы измерительные: показывающий	
регистрирующий	
интегрирующий (например, счетчик)	
Амперметр	A

Наименование	Обозначение
Вольтметр	V
Вольтамперметр	VA
Ваттметр	W
Варметр	var
Микроамперметр	μA
Миллиамперметр	mA
Милливольтметр	mV
Омметр	Ω
Мегомметр	MΩ
Частотомер	Hz
Волномер	λ
Фазометр, измеряющий сдвиг фаз	φ
Фазометр, измеряющий коэффициент мощности	cos φ
Счетчик ампер-часов	Ah

Наименование	Обозначение
Счетчик ватт-часов	Wh
Счетчик вольт-ампер-часов реактивный	varh
Гальванометр	
Синхроноскоп	
Осциллоскоп	
Шунт	
Индикатор полярности	±
Термопреобразователь бесконтактный	
контактный	
Гальванометр осциллографический тока или напряжения мгновенной мощности	
Осциллограф	

Наименование	Обозначение
Обмотка измерительного прибора: тока	
напряжения	
Разрядники и предохранители (ГОСТ 2.727-68)	
Промежуток искровый защитный	→ ←
Разрядник. Общее обозначение	
Примечание. Если необходимо уточнить тип разрядника, применяют следующие обозначения: трубчатый	
вентильный и магнитовентильный	
шаровой	
роговой	
Предохранитель пробивной	

Наименование	Обозначение
Предохранитель плавкий. Общее обозначение	
Предохранитель с сигнализирующим устройством: с самостоятельной цепью сигнализации	
с общей цепью сигнализации	

Устройства коммутирующие (ГОСТ 2.725-68)

Наименование	Обозначение
Контакт выключателя и переключателя: замыкающий	
размыкающий	
переключающий	
При изображении выключателей и переключателей со сложной схемой коммутации можно применять следующие обозначения контактов: Первый способ замыкающий: в обе стороны; в одну сторону (например, вправо); размыкающий: в обе стороны; в одну сторону (например, вправо)	

Наименование	Обозначение
Второй способ	1 2 3 4
Контакт с безобрывным переключателем	
Контакт реле: замыкающий	
размыкающий	
переключающий	
с безобрывным переключением	
Контакт контактора, пускателя, силового контроллера, блок-контакт электрического аппарата: замыкающий	
размыкающий	
переключающий	
с безобрывным переключением	

Наименование	Обозначение
Примечание. При изображении силовых контроллеров со сложной коммутацией можно применять следующие обозначения контактов: замыкающий: в обе стороны в одну сторону (например, вправо) размыкающий: в обе стороны в одну сторону (например, вправо)	
Контакт замыкающий с выдержкой времени: при замыкании	
при размыкании	
при замыкании и размыкании	
Контакт размыкающий с выдержкой времени: при замыкании	
при размыкании	
при замыкании и размыкании	
Контакт с гашением. Общее обозначение: замыкающий	
размыкающий	
Контакт остающийся: замыкающий	

Наименование	Обозначение
размыкающий	
Контакт, остающийся с ручным возвратом: замыкающий	
размыкающий	
Контакт импульсный (временно замыкающий) **Примечание.** При необходимости направление движения, при котором происходит замыкание, показывают стрелкой	
Контакт неэлектрического реле (датчика, путевого выключателя, конечного выключателя и т. п.): замыкающий	или
размыкающий	или
Соединение штепсельное разъемное, разъем (соединитель) штепсельный	
Разъем штепсельный высоковольтный	
Выключатель однополюсный. Общее обозначение	
Выключатель с одним замыкающим и двумя размыкающими контактами	

Наименование	Обозначение
Выключатель многополюсный (например, четырехполюсный)	Однолинейное; Многолинейное
Переключатель однополюсный на два положения	
Переключатель на два направления (двухполюсный): на два положения без размыкания цепи при переходе с одного контакта на другой	Однолинейное; Многолинейное
на три положения (третье положение нейтральное)	Однолинейное; Многолинейное
Переключатель на четыре цепи на три положения (третье положение нейтральное)	
Переключатель цепи управления многопозиционный. Размыкающий контакт отключается при повороте вправо (I) в положения *1* и *2* и при повороте влево (II) в положение 2. Контакт остается включенным в положении *1* при повороте влево (II)	II I; 2 1 0 1 2

Наименование	Обозначение
Примечание. Если переключатель в нескольких соседних положениях остается включенным, можно использовать вместо зачерненных точек сплошную линию, которая соединяет указанные положения включения	1 2 3 4 5
Переключатель цепи управления на три положения с фиксацией переключающего механизма в нейтральном положении. Замыкающий контакт включается при повороте вправо (I) или влево (II) и отключается после возврата переключающего механизма в нейтральное положение	II 0 I
Переключатель цепи управления на три положения с пружинным возвратом в нейтральное положение *0*, с остающимися контактами: контакт включается при повороте вправо на автоматическую работу (I) и остается включенным после возврата рукоятки в нейтральное положение; контакт включается при повороте влево на ручную работу (II) и отключается после возврата рукоятки в нейтральное положение	II 0 I
Переключатель цепи управления на четыре направления и три положения (например, кулачковый)	1 2 3
Контроллер силовой на два рабочих положения в каждую сторону на шесть направлений. Два контакта без гашения — размыкающие; три контакта с гашением — замыкающие; один контакт с гашением — размыкающий	2 1 0 1 2

Наименование	Обозначение
Контроллер силовой на три положения и два направления, один из контактов замыкается раньше, чем размыкается другой	1 2 3
Разъединитель однополюсный	
Короткозамыкатель	
Отделитель одностороннего действия	
Отделитель двустороннего действия	
Выключатель автоматический. Общее обозначение	
Выключатель автоматический трехполюсный	

Наименование	Обозначение
Примечания. 1. Если необходимо указать, на изменение какой величины реагирует выключатель, используют следующие знаки: максимального тока	$I>$
минимального тока	$I<$
обратного тока	$I\leftarrow$
максимального напряжения	$U>$
минимального напряжения	$U<$
максимальной температуры	$T°>$
2. Знаки проставляют около обозначения выключателя (например, выключатель автоматический с тепловой защитой)	$T°>$
Разъединитель-выключатель нагрузки высоковольтный трехполюсный	Однолинейное Многолинейное
Выключатель высокого напряжения трехполюсный	Однолинейное Многолинейное

Наименование	Обозначение
Примечание. В схемах энергоснабжения выключатель высокого напряжения можно изображать в виде квадрата. В квадрат вписывают обозначение типа выключателя	ВМГ
Кнопка с самовозвратом с замыкающим контактом	
Кнопка с самовозвратом и размыкающим контактом	
Кнопка с самовозвратом, одним замыкающим и одним размыкающим контактами	
Кнопка с защелкой, ручным возвратом от дополнительной кнопки и замыкающим контактом	
Кнопка с защелкой, электромагнитным возвратом и замыкающим контактом. Катушка возврата изображается отдельно	
Кнопка с самовозвратом, двумя замыкающими и одним размыкающим контактами	
Обмотка реле, контактора и магнитного пускателя. Общее обозначение	
Примечания. 1. Обозначение, которое подчеркивает, что реле однообмоточное	
2. Выводы обмотки можно изображать по одну сторону прямоугольника	

Наименование	Обозначение
Примечания. В прямоугольник можно вписывать величину сопротивления обмотки реле. (Например, обмотка, величина сопротивления которой равна 200 *ом*)	200
Если необходимо уточнить род тока реле, то в прямоугольник вписывают соответствующий знак (например, обмотка реле переменного тока)	~
Если необходимо показать вид обмотки реле, используют следующие обозначения: обмотка токовая	I
обмотка напряжения	U
обмотка реле максимального тока	I >
обмотка реле минимального напряжения	U <
Для изображения обмоток реле, контакторов и магнитных пускателей можно применять следующие обозначения: обмотка токовая последовательная	или
обмотка реле напряжения параллельная	или
обмотка контактора и магнитного пускателя	или

Наименование	Обозначение
две параллельно включенные обмотки контактора	или
Обмотка двухобмоточного реле	или
Обмотка *n*-обмоточного реле	n или n
Обмотка реле бифилярная	
Обмотка электромагнитного реле с указанием выдержки времени: с замедлением при срабатывании	
с замедлением при отпускании	
с замедлением при срабатывании и отпускании	
Обмотка теплового реле	
Обмотка реле с механической блокировкой	
Реле поляризованное двухпозиционное	Б
Можно применять следующее обозначение реле: тока	Т

Наименование	Обозначение
напряжения	Н
мощности	М
сопротивления	С
времени	В
указательное	У
синхронизации	Сн
промежуточное	П
температурное	Т°
струйное	Ст
газовое	Г

Наименование	Обозначение
давления	
скорости	
Реле промежуточное с указателем действия, возвращаемым от руки в нормальное положение	
Реле тока с зависимой выдержкой времени	
Внутри обозначения реле можно изображать контакты и указывать выводы обмоток	

Электромагниты (ГОСТ 2.724-68)

Электромагнит. Общее обозначение	
Если необходимо указать количество обмоток электромагнита, используют следующие обозначения: электромагнит однообмоточный	
электромагнит двухобмоточный одностороннего действия	
электромагнит двухобмоточный двустороннего действия	

Наименование	Обозначение
Если необходимо уточнить род тока электромагнита, в прямоугольник вписывают соответствующий знак (например, электромагнит переменного тока)	
Выводы электромагнита можно изображать по одну сторону прямоугольника	
Для изображения электромагнита можно применять следующие обозначения: электромагнит последовательного включения	
электромагнит параллельного включения	
электромагнит трехфазного тока	
Можно применять развернутое обозначение электромагнита (например, электромагнит трехфазного тока с соединением обмоток в звезду)	
Муфта электромагнитная общее обозначение	
реверсивная	

Наименование	Обозначение
Резисторы; конденсаторы (ГОСТ 2.728-68)	
Резистор нерегулируемый	
Резистор нерегулируемый с отводами	
Резистор (регулируемый реостат): общее обозначение	или
с разрывом цепи	
без разрыва цепи	
Резистор регулируемый (потенциометр)	
Конденсатор нерегулируемый. Общее обозначение	
Конденсатор электролитический: полярный	+ −
неполярный	
Конденсатор регулируемый	или
Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители (ГОСТ 2.723-68)	
Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя	

Наименование	Обозначение
Для указания начала обмотки используют точку	
Сердечник (магнитопровод): ферромагнитный (в том числе ферритовый)	
ферромагнитный с воздушным зазором	
Катушка индуктивности, дроссель без сердечника	
Реактор (для схем электроснабжения)	
Трансформатор без сердечника: с постоянной связью	
с переменной связью	
Трансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	Однолинейное Многолинейное

Наименование	Обозначение
Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником; соединение обмоток: звезда — звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой	
Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником; соединение обмоток: звезда с выведенной нейтральной точкой — треугольник	Однолинейное Многолинейное
Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником трехобмоточный; соединение обмоток: звезда с регулированием под нагрузкой — треугольник и звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой	Однолинейное Многолинейное Многолинейное
Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником; соединение обмоток: звезда на одной обмотке — две обратные звезды с выведенными нейтральными точками на двух других обмотках с уравнительным реактором	Однолинейное Многолинейное

Наименование	Обозначение
Автотрансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	Однолинейное Многолинейное
Автотрансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником и соединением обмоток в звезду	Однолинейное Многолинейное
Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой	Однолинейное Многолинейное
Трансформатор тока с двумя сердечниками	Однолинейное Многолинейное
Трансформатор тока с одним сердечником и двумя вторичными обмотками	
Трансформатор тока шинный нулевой последовательности с катушкой подмагничивания	

Наименование	Обозначение
Трансформатор тока быстронасыщающийся	
Трансформатор напряжения измерительный	
Усилитель магнитный с двумя рабочими и общей управляющей обмотками	
Усилитель магнитный с параллельным соединением рабочих обмоток и общей управляющей обмоткой	
Усилитель магнитный трехфазный с тремя рабочими и четырьмя управляющими обмотками	
Приборы электровакуумные (ГОСТ 2.731-68)	
Анод электронной лампы и ионного прибора	
Электрод (например, анод) с использованием вторичной электронной эмиссии	

Наименование	Обозначение
Катод. Общее обозначение	
Катод прямого накала. Подогреватель	
Катод косвенного накала (изображен без подогревателя)	
Катод холодный	
Катод фотоэлектронный	
Катод жидкий	
Сетка	
Электрод зажигающий	
Диод: прямого накала	

Наименование	Обозначение
косвенного накала	
Диод двойной: с общим катодом	
с раздельными катодами	
Триод	
Диод двойной — триод	или
Пентод	или
Диод двойной — пентод	или

Наименование	Обозначение
Триод — пентод	
Газотрон: с одним анодом	
с двумя анодами	
Тиратрон с холодным (твердым) катодом	
Тиратрон с тремя сетками	
Стабилитрон	
Стабилизатор тока (бареттер). Букву *U* можно не указывать	

Наименование	Обозначение
Вентиль ртутный. Общее обозначение	
Вентиль ртутный управляемый. Общее обозначение	
Игнитрон	
Фотоэлемент электронный	
Фотоэлемент ионный	
Источники света (ГОСТ 2.732-68)	
Лампа накаливания осветительная и сигнальная. Общее обозначение Примечание. При изображении сигнальных ламп секторы можно зачернять	*Однолинейное Многолинейное*

Наименование	Обозначение
Лампа газоразрядная осветительная и сигнальная. Общее обозначение	
Приборы полупроводниковые (ГОСТ 2.730-68)	
Эмиттер *p* с областью *n*	
Эмиттер *n* с областью *p*	
Диод полупроводниковый. Выпрямитель полупроводниковый, состоящий из одного вентиля или ряда последовательно, параллельно или смешанно соединенных вентилей. Примечание. Вершина треугольника указывает направление наибольшей проводимости	
Триод полупроводниковый типа *p-n-p*	
Триод полупроводниковый типа *n-p-n*	
Диод управляемый (тиристор диодный): общее обозначение с управляющим выводом от области *n* с управляющим выводом от области *p*	

Наименование	Обозначение
Фоторезистор	
Фотодиод	
Фотоэлемент полупроводниковый	
Фототриод типа p-n-p	
Фототриод типа n-p-n	
Схемы соединения полупроводниковых диодов: однофазная с нулевым выводом	
однофазная мостовая	или или

Наименование	Обозначение
трехфазная мостовая	
Приборы акустические (ГОСТ 2.741-68)	
Звонок электрический. Общее обозначение	
Гудок	
Сирена электрическая	
Токосъемники (ГОСТ 2.726-68)	
Токосъемник троллейный: общее обозначение управляемый (пантограф)	
Токосъемник кольцевой	

Некоторые формулы, встречающиеся при электротехнических расчетах

Сопротивление проводника омическое (при постоянном токе)

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{l}{\gamma S} \; [ом],$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, *ом · мм²/м*; l — длина проводника, *м*; S — сечение проводника, *мм²*; γ — удельная проводимость, $\gamma = \frac{1}{\rho}$ [*сим/м*] (для меди $\gamma_м = 57$, для алюминия $\gamma_а = 34$ и для железа $\gamma_ж = 9$ *сим/м*).

Сечение голого круглого провода

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854 \; d^2 \; [мм^2],$$

где d — диаметр провода, *мм*.

Масса 1 *м* обмоточной медной проволоки

$$Q = 7d^2 \; [г],$$

где d — диаметр проволоки, *мм*. Плотность отожженной обмоточной медной проволоки $Q_м = 8{,}9$ *г/см³*.

Сопротивление проводника при температуре, отличной от 20° С,

$$R_t = R_0 + R_0\alpha(t - t_0)$$

или, что то же, $R_t = R_0(1 + \alpha\,\Delta t)$, где R_0 — сопротивление проводника при $t_0 = 20°$ С, *ом*; α — температурный коэффициент электрического сопротивления (для меди $\alpha_м = 0{,}004$, для алюминия $\alpha_а = 0{,}0042$).

Сопротивление 1 *км* провода (приближенно) для меди

$$r = \frac{17 + 0{,}08t}{S} \; [ом],$$

для алюминия

$$r = \frac{28{,}6 + 0{,}12t}{S} \; [ом],$$

где t — температура, °С; S — сечение провода, *мм²*.

При последовательном соединении приемников:
общее сопротивление цепи

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \; [ом],$$

где $R_1, R_2, \ldots, R_n$ — сопротивления отдельных приемников;
общее напряжение сети

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \; [в],$$

где $U_1 - U_n$ — потери напряжения на отдельных приемниках.

Параллельное соединение приемников:
общее сопротивление цепи

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}} \; [ом],$$

где $R_1, R_2, \ldots, R_n$ — сопротивления отдельных приемников;
общий ток цепи

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n \; [а],$$

где $I_1, I_2, \ldots, I_n$ — токи, потребляемые отдельными приемниками.

Распределение токов при параллельном соединении между отдельными приемниками обратно пропорционально их сопротивлениям

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Индуктивное (реактивное) сопротивление

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \; [ом],$$

где ω — угловая скорость (при $f = 50$ *гц* $\omega = 314$ *рад/сек*); f — частота, *гц*; L — индуктивность, *гн*.

Емкостное (реактивное) сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \; [ом],$$

где C — емкость, *ф*.

Полное реактивное сопротивление

$$X = X_L - X_C.$$

Полное сопротивление переменному току

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \; [ом],$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \; [ом].$$

Индуктивность (коэффициент самоиндукции):
однослойная катушка без стали

$$L = \frac{3{,}95 r^2 n^2 k}{h} \, 10^{-8} \; [гн],$$

где r — средний радиус витка, *см*; n — число витков; k — коэффициент (при $\frac{h}{r} = 3 \div 6$ имеем $k = 0{,}75$; при $\frac{h}{r} = 1 \div 3$ имеем $k = 0{,}5 \div 0{,}7$; при $\frac{h}{r} = 1 \div 0{,}5$ имеем $k = 0{,}3 \div 0{,}5$); h — высота (длина) катушки, *см*;

многослойная катушка без стали

$$L = \frac{0{,}08 D^2 n^2}{3D + 9h + 10c} \, 10^{-8} \; [гн],$$

где D — средний диаметр витка, *см*; c — толщина намотки катушки, *см*;

катушка со сталью

$$L = \frac{1{,}25 n^2 S \mu}{l} \, 10^{-8} \; [гн],$$

где S—сечение катушки, *см²*; μ—магнитная проницаемость (для воздуха $\mu = 1$; для стали $\mu = 200 - 400$); l — длина магнитной цепи, *см*.

Индуктивное сопротивление на фазу однофазной или трехфазной воздушной линии

$$X = 0{,}144 \lg \frac{a}{r} + 0{,}016 \ [ом/км],$$

где a — расстояние между осями проводов, *см*; r — радиус поперечного сечения провода, *см*.

В ориентировочных расчетах можно принимать такие значения величины X: при напряжении до 6 *кв* — 0,35 *ом/км*, при напряжении больше 6 *кв* — 0,4 *ом/км*. В расчетах кабельных линий, если напряжение кабеля до 6 *кв*, $X = 0{,}07$, если напряжение 6—10 *кв*, $X = 0{,}08$ *ом/км*.

Индуктивность трехфазной линии (без учета транспозиции)

$$L = \left(4{,}6 \lg \frac{D_{ср}}{d} + 0{,}5\mu\right) \cdot 10^{-4} \ [гн/км].$$

Здесь d — диаметр провода, *см*; $D_{ср}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами линии, *см*,

$$D_{ср} = \sqrt[3]{a_{1-2}a_{2-3}a_{1-3}},$$

где a_{1-2}, a_{2-3}, a_{1-3} — расстояния (*см*) между проводами 1 и 2; 2 и 3; 3 и 1.

Реактивная мощность конденсатора

$$Q = U^2 \omega C \ [вар],$$

где U — напряжение сети, *в*; C — емкость, *ф*.

Емкость конденсатора

$$C = \frac{10^6}{2\pi f} \cdot \frac{I_C}{U} \ [мкф],$$

где I_C — ток емкости, *а*; U — напряжение, *в*.

При $f = 50$ *гц*

$$C = \frac{10^6}{314} \cdot \frac{I_C}{U}.$$

Общая емкость конденсаторов:

при последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n};$$

при параллельном соединении

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n,$$

где C_1, C_2, ..., C_n — емкость отдельных конденсаторов, включенных в цепь.

Емкость трехфазной линии

$$C_0 = \frac{24 \cdot 10^{-9}}{\lg \dfrac{D_{ср}}{r}} \ [ф/км],$$

где r — радиус сечения провода (жилы), *см*.

Емкостный ток при однополюсном замыкании на землю

$$I_з = 1{,}73 U\omega C_0 l \cdot 10^{-6} \cong \frac{2{,}6 lU}{1000} \ [а],$$

где l — общая протяженность линии, *км*; C_0 — частичная емкость провода относительно земли, *мкф/км*; U — напряжение линии, *в*; $\omega = 2\pi f = 314$.

Для воздушных линий

при напряжении 6 *кв* $I_з = 1{,}5$ *а* на 100 *км*;
при напряжении 10 *кв* $I_з = 2{,}5$ *а* на 100 *км*;
при напряжении 30 *кв* $I_з = 10$ *а* на 100 *км*.

Для кабельных линий

при напряжении 6 *кв*

$$I_з = \frac{95 + 2{,}84S}{2200 + 6{,}0S} U_{ном} \ [а/км];$$

при напряжении 10 *кв*

$$I_з = \frac{95 + 1{,}44S}{2200 + 0{,}23S} U_{ном} \ [а/км],$$

где S — сечение кабеля, *мм*²; $U_{ном}$ — номинальное напряжение кабеля, *кв*.

Закон Ома для цепи постоянного тока

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — ток, *а*; R — сопротивление, *ом*; U — напряжение, *в*.

Закон Ома для цепи переменного тока с реактивным сопротивлением

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Здесь

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

где R — активное сопротивление, *ом*; X — реактивное сопротивление, *ом*.

Ток при последовательном соединении элементов (гальванических)

$$I = \frac{En}{R + rn} \ [а],$$

где E — э. д. с. элемента, *в*; n — количество последовательно соединенных элементов; R — внешнее сопротивление цепи, *ом*; r — внутреннее сопротивление элемента, *ом*.

Ток при параллельном соединении элементов

$$I = \frac{E}{R + \dfrac{r}{n}}.$$

Ток при смешанном соединении элементов

$$I = \frac{En}{R + \dfrac{rn}{m}},$$

где m — число параллельных групп элементов.

Зарядная емкость аккумулятора

$$Q_з = I_з t_з \ [a \cdot ч],$$

где $I_з$ — ток зарядный, *а*; $t_з$ — время зарядки, *ч*.

Разрядная емкость аккумулятора

$$Q_р = I_р t_р \ [a \cdot ч],$$

где $I_р$ — ток разрядный, *а*; $t_р$ — время разряда, *ч*.

Коэффициент отдачи аккумулятора

$$\eta = \frac{Q_р}{Q_з}.$$

Количество вещества, отложившегося на электроде,

$$\mu = kIt \ [мг],$$

где I — ток, *а*; t — время протекания тока, *сек*; k — электрохимический эквивалент вещества.

Количество тепла, выделяемого при протекании тока

$$Q = I^2Rt \ [дж],$$

где I — ток, *а*; R — сопротивление цепи, *ом*; t — время прохождения тока, *сек*.

Закон электромагнитной индукции для синусоидального тока

$$E = 4{,}44f\omega BS \ [в],$$

где E — наведенная э. д. с., *в*; f — частота, *гц*; ω — число витков обмотки; B — индукция магнитного поля в стали, *тл*; S — сечение магнитопровода, $м^2$.

Частота тока

$$f = \frac{pn}{60} \ [гц],$$

где p — число пар полюсов генератора; n — скорость, *об/мин*.

Скорость вращающегося магнитного поля машины

$$n = \frac{60f}{p} \ [об/мин].$$

Подъемная сила электромагнита

$$P = 3978B^2S10^2 \ [н],$$

где B — магнитная индукция в воздушном зазоре, *тл*; S — сечение стального сердечника, $м^2$.

Ток в цепи переменного тока

$$I = \sqrt{I_а^2 + I_р^2} \ [а],$$

где $I_а$ — активная составляющая тока, *а*, $I_а = I \cos\varphi$; $I_р$ — реактивная составляющая тока, $I_р = I \sin\varphi$ [*а*].

Напряжение в цепи переменного тока

$$U = \sqrt{U_а^2 + U_р^2} \ [в],$$

где $U_а$ и $U_р$ — активная и реактивная составляющие напряжения, *в*.

Соотношения токов и напряжений в трехфазной системе:

соединение в звезду

$$I_л = I_ф \ [а]; \quad U_л = 1{,}73U_ф \ [в];$$

соединение в треугольник

$$I_л = 1{,}73I_ф \ [а]; \quad U_л = U_ф \ [в],$$

где $I_л$ — ток линейный; $I_ф$ — ток фазный; $U_л$ — напряжение линейное; $U_ф$ — напряжение фазное.

Мощность постоянного тока

$$P = UI \ [вт],$$

где U — напряжение, *в*; I — ток цепи, *а*.

Мощность и энергия переменного однофазного тока: активная мощность

$$P = UI\cos\varphi \ [вт];$$

реактивная мощность

$$Q = UI\sin\varphi \ [вар];$$

полная (кажущаяся) мощность

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \ [ва];$$

активная энергия

$$W = 3600Pt \ [дж];$$

реактивная энергия

$$W_р = Qt \ [вар \cdot ч],$$

где U — напряжение цепи, *в*; I — ток цепи, *а*; φ — угол сдвига фаз; t — время протекания тока, *ч*.

Мощность и энергия переменного трехфазного тока:

активная мощность

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi \ [вт];$$

реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi \ [вар];$$

полная (кажущаяся) мощность

$$S = \sqrt{3}UI \ [ва];$$

активная энергия

$$W = 3600Pt \ [дж];$$

реактивная энергия

$$W_р = Qt \ [вар \cdot ч],$$

где U — линейное (междуфазное) напряжение, *в*; I — линейный ток, *а*; t — время протекания тока, *ч*.

Коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_а}{U} = \frac{I_а}{I}; \quad \cos\varphi = \frac{P}{S};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{W_р}{W}.$$

Глава II

ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Измерения при испытательно-наладочных работах — одна из наиболее существенных операций, от правильного выполнения которых зависит успех всей работы. При наладке электроустановок чаще всего измеряют такие величины: напряжение, ток, мощность, угол сдвига фаз между переменным током и напряжением ($\cos \varphi$), сопротивление постоянному и переменному току, время протекания процессов, температуру, скорость вращения, вибрацию и др.

Методы измерения разделяют на прямые и косвенные. В прямых методах измеряемую величину сравнивают непосредственно с мерой, в косвенных искомую величину не измеряют, а вычисляют по данным измерения других величин, связанных с искомой известными соотношениями (например, определение сопротивления с использованием вольтметра и амперметра).

К прямым относятся: 1) методы непосредственной оценки (измерение вольтметром, амперметром, ваттметром и др.); 2) нулевой метод (измерение сопротивления мостом, э. д. с.— потенциометром и т. п.); 3) дифференциальный метод (измерение разности между искомой и известной величинами); 4) метод замещения (измеряемую величину заменяют известной, что не должно вызывать изменения показаний измерительного прибора)

Наиболее просты и удобны методы непосредственной оценки, однако точность измерения этими методами в последней трети шкалы прибора не превышает 0,2—0,5%. В некоторых случаях пользуются нулевым методом, точность которого может быть 0,001%.

В зависимости от точности, добротности и конструктивного выполнения измерительные приборы и меры подразделяются на эталонные, лабораторные и технические. Наибольшее распространение в наладочной практике получили лабораторные приборы и меры.

Погрешность измерения

Абсолютной погрешностью измерения ΔA называют разность между найденным значением измеряемой величины $A_{из}$ и действительным ее значением $A_{д}$:

$$\Delta A = A_{из} - A_{д}. \qquad (II.1)$$

Абсолютной поправкой измерения называют величину δA, равную абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком,

$$\delta A = -\Delta A. \qquad (II.2)$$

Действительное значение измеряемой величины при известной поправке измерения

$$A_{д} = A_{из} + \delta A. \qquad (II.3)$$

Таблица II.1

Обозначение системы прибора

Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический логометр с подвижными рамками	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
Магнитоэлектрический логометр с подвижным магнитом	
Электромагнитный прибор	
Электромагнитный логометр	
Электромагнитный поляризованный прибор	
Электродинамический прибор	
Электродинамический логометр	
Электростатический прибор	
Ферродинамический прибор	
Ферродинамический логометр	
Индукционный прибор	

Индукционный логометр	
Магнитоиндукционный прибор	
Вибрационный прибор (язычковый)	
Тепловой прибор (с нагреваемой проволокой)	
Биметаллический прибор	
Термопреобразователь изолированный	
Термопреобразователь неизолированный	
Выпрямитель полупроводниковый	
Выпрямитель электромеханический	
Электронный преобразователь	
Преобразователь вибрационно-импульсный	
Компенсационный преобразователь	

Термоэлектрический прибор (с изолированным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)	
Вибрационно-импульсный прибор (с вибрационно-импульсным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)	
Выпрямительный прибор (с полупроводниковым выпрямителем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)	
Выпрямительный прибор (с полупроводниковым выпрямителем и измерительным механизмом с подвижным магнитом)	
Электронный прибор (с электростатическим измерительным механизмом)	
Магнитоэлектрический прибор первой категории защищенности от магнитных влияний	
Электростатический прибор первой категории защищенности от электрических полей	

Таблица II.2

Условные обозначения на шкале прибора

Род тока	Постоянный	—
	Переменный однофазный	~
	Постоянный и переменный	

Род тока	Трехфазный (общее обозначение)	≋
	Трехфазный при неравномерной нагрузке фаз	≋
Обозначение положения прибора	Горизонтальное положение шкалы	⊓
	Вертикальное положение шкалы	⊥
	Наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту (например, 30°)	∠30°
	Направление ориентировки прибора в земном магнитном поле	N ↑ S
Обозначение группы прибора (например, Б)		Б
Обозначение класса точности прибора	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах) от длины шкалы, т. е. в линейных единицах (например, 1,0)	1,0
	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах) от диапазона измерения (например, 1,5)	1,5
	То же. Допускаемое условное обозначение	(1,5)
	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах) от данного показания (например, 0,05)	0,05
	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах) от конечного значения рабочей части шкалы для приборов с безнулевой шкалой (например, 1,5)	$\overline{1{,}5}$

Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением (например, 7 *кв*)	
См. дополнительные указания в паспорте и инструкции по эксплуатации	

Относительной погрешностью измерения ε называют отношение абсолютной погрешности ΔA к действительному значению измеряемой величины $A_д$

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_д} 100\% = \frac{A_{из} - A_д}{A_д} 100\ [\%] \qquad (II.4)$$

или

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{из} - \Delta A} 100\ [\%]. \qquad (II.5)$$

Приведенной относительной погрешностью измерительного прибора $\varepsilon_{пр}$ называют отношение абсолютной погрешности к разнице между верхним $A_в$ и нижним $A_н$ пределами измерения прибора

$$\varepsilon_{пр} = \frac{\Delta A}{A_в - A_н} 100\ [\%]. \qquad (II.6)$$

На паспортной табличке или на шкале измерительного прибора указывают его класс, который предопределяет максимально допустимую величину $\varepsilon_{пр}$. ГОСТ 1845—59 предусматривает следующие классы точности электроизмерительных приборов: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Для соблюдения точности измерения в пределах класса необходимо следить, чтобы условия работы прибора соответствовали требованиям ГОСТа или ТУ (температура окружающего воздуха должна быть близка 20° С, частота тока равна нормальной для прибора, внешние магнитные поля и кратковременные перегрузки не должны превышать допустимых величин и т. п.). На шкале прибора приводятся также условные обозначения системы прибора, рода измеряемого тока, испытательного напряжения и других параметров (табл. II.1 и II.2).

Измерение тока и напряжения

Напряжения и токи, которые необходимо измерять при испытательно-наладочных работах, весьма разнообразны по величине, роду тока, а иногда частоте; разнообразны также условия проведения этих измерений и требования к их точности.

Для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока в основном используются приборы магнитоэлектрической системы, обладающие высокими точностью, чувствительностью и перегрузочной способностью. В отдельных случаях могут быть использованы приборы электромагнитной, электродинамической и детекторной систем.

В цепях переменного тока промышленной частоты ток и напряжение измеряют с помощью приборов электромагнитной, электродинамической и детекторной систем.

Приборы электромагнитной системы прочны, недороги и обладают достаточной для наладочных работ точностью (класса 0,5—2,5).

Таблица II.3

Технические данные приборов для измерения тока и напряжения

Наименование	Тип	Система	Класс точности	Пределы измерения	Примечание
Амперметр	М1104	Магнитоэлектрическая	0,2	0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75 *ма*; 0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30 *а*; 45 *мв*; 3 *в*	Падение напряжения на приборе 27; 55; 68; 80; 80; 80; 80 *мв*; 80; 85; 100; 100; 100; 140; 160; 230 *мв* Потребляемый ток 1 *ма*
Милливольтметр	М1105	То же	0,2	45; 75 *мв*; 3 *в*	Потребляемый ток 1 *ма*
Вольтметр	М1106	» »	0,2	45; 75; 150; 300; 750 *мв*; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 750 *в*; 3 *ма*	Потребляемый ток 1 *ма* Падение напряжения 68 *мв*
Вольтамперметр	М1107	» »	0,2	45; 75; 150; 300; 750 *мв*; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 *в*; 0,75; 1,5; 3,0; 7,5; 15; 30; 75 *ма*; 0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30 *а*	Потребляемый ток 1 *ма* Падение напряжения 27 ÷ 230 *мв*
Вольтамперметр	М1108	» »	0,2	45; 75 *мв*; 1,5; 3,0; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300 *в*; 0,3; 0,75; 1,5; 3,0; 7,5; 15; 30 *а*	Потребляемый ток 1 *ма* Падение напряжения 85 ÷ ÷ 230 *мв*
Милливольтмиллиамперметр	М1109	» »	0,2	0,15; 0,3; 0,6; 1,5; 6,0; 15; 60 *ма*	
Микроамперметр	М109	» »	0,5	10; 50; 200; 1000 *мка*	Падение напряжения 50; 400; 480; 480 *мв*
	М109	» »	0,5	50; 100; 500; 1000 *мка*	Падение напряжения 9; 50; 83; 83 *мв*
Миллиамперметр	М109	» »	0,5	2; 10; 50; 200 *ма*	Падение напряжения 27; 220; 270; 270 *мв*
Амперметр	М109	» »	0,5	1; 2; 5; 10 *а*	Падение напряжения 55; 55; 65; 65 *мв*
Милливольтметр	М109	» »	0,5	10; 50; 200; 1000 *мв*	Потребляемый ток 0,5 *ма*
Милливольтметр	М109	» »	0,5	45; 75; 150; 3000 *мв*	Потребляемый ток 3 *ма*
Вольтметр	М109	» »	0,5	3; 7,5; 15; 30 *в*	Потребляемый ток 3 *ма*
Вольтметр	М109	» »	0,5	1; 5; 20; 100 *в*	Потребляемый ток 0,01 *ма*
Вольтметр	М109	» »	0,5	5; 20; 100; 500 *в*	Потребляемый ток 0,01 *ма*
Вольтметр	М109	» »	0,5	75; 150; 300; 600 *в*	Потребляемый ток 3 *ма*
Вольтамперметр	М253	» »	0,5	15; 30; 60; 75; 150; 300; 750 *мв*; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 *в*; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 750 *ма*; 1,5; 3; 7,5; 15; 30 *а*	Потребляемый ток 0,75 ÷ 3 *ма* Падение напряжения 15 ÷ 172 *мв*
Вольтметр	М-45М	» »	1,0	3; 15; 150 *в*; 3; 7,5; 15; 30 *в*; 3; 15; 150; 300 *в*; 3; 30; 300 *в*; 30; 75; 150; 300 *в*; 150; 300; 450 *в*; 150; 300; 600 *в*; 15; 150; 450 *в*	Потребляемый ток 3 *ма*
Миллиамперметр	М-45М	» »	1,0	1,5; 7,5; 15; 30 *ма*; 7,5; 15; 30 *ма*; 3; 15; 75; 150 *ма*	
Амперметр (измеритель на 75 *мв* или 75—0—75 *мв*)	М-45М	» »	1,0	0,3; 0,75; 1,5; 7,5 *а*; 15; 30; 75; 150 *а*	С наружными шунтами типа 75РИ
Амперметр (измеритель на 75—0—75 *мв*)	М-45М	» »	1,0	500; 1500 *а*	С наружными шунтами типа 75ШС
Милливольтметр	М-45М	» »	1,0	75 *мв*; 75—0—75 *мв*; 75; 150; 750; 1500 *мв*	Потребляемый ток 7,5 *ма*; 3,75 *ма*; 7,5 *ма*
Вольтамперметр	М-45М	» »	1,0	75 *мв*; 3; 15; 150 *в*; 0,3; 0,75; 1,5; 7,5 *а*; 15; 30; 75; 150 *а*	С наружными шунтами типа 75РИ
Вольтметр	Э-59/1	Электромагнитная	0,5	75; 150; 300; 600 *в*	Потребляемый ток 7,5 *ма*
Вольтметр	Э-59/2	То же	0,5	7,5; 15; 30; 60 *в*	Потребляемый ток на пределах 7,5—15 *в* до 90 *ма*; 30—60 *в* до 30 *ма*
Амперметр	Э-59/3	» »	0,5	5; 10 *а*	Активное сопротивление 0,007—0,004 *ом*
Амперметр	Э-59/4	» »	0,5	2,5; 5 *а*	Активное сопротивление 0,014—0,0045 *ом*
Амперметр	Э-59/5	» »	0,5	1; 2 *а*	Активное сопротивление 0,05—0,014 *ом*
Амперметр	Э-59/6	» »	0,5	0,25; 0,5; 1,0 *а*	Активное сопротивление 0,7—0,17—0,055 *ом*

3*

Продолжение табл. II.3

Наименование	Тип	Система	Класс точности	Пределы измерения	Примечание
Миллиамперметр	Э-59/7	Электромагнитная	0,5	50; 100; 200 *ма*	Активное сопротивление 20—5—1,3 *ом*
Миллиамперметр	Э-59/8	То же	0,5	25; 50; 100 *ма*	Активное сопротивление 75—19—4,8 *ом*
Миллиамперметр	Э-59/9	» »	0,5	10; 20; 40 *ма*	Активное сопротивление 540—135—34 *ом*
Вольтметр	С-50	Электростатическая	1,0	30; 75; 150; 300; 450; 600 *в*; 1; 1,5; 3 *кв*	Входная емкость не более 10 *пф*
Вольтметр	С-96	То же	1,5	7,5; 15; 30 *кв*	Входная емкость не более 12 *пф*
Вольтметр	С-100	» »	1,5	25; 50; 100 *кв*	Входная емкость не более 18 *пф*
Вольтметр	С-101	» »	1,5	100; 200; 300 *кв*	Входная емкость 65 *пф*
Вольтмиллиамперметр	Ф-506	Электронная	1,0	10; 30; 100; 300 *мка*; 1; 3; 10; 30; 100; 300 *ма*; 10; 30; 100; 300 *мв*; 1; 3; 10; 30; 100; 300 *в*	Номинальная область частот 20—40 000 *гц*
Амперметр	Т-18	Термоэлектрическая	1,5	0,5; 1; 2,5 *а*; 5; 10; 15; 25 *а*; 50 *а*	С термопреобразователем Т109; Т110; Т111
Миллиамперметр	Т-15	То же	1,0	30; 50; 100; 300 *ма*	С термопреобразователем Т-105
Миллиамперметр	Т-13	» »	1,5	1 и 3 *ма*	С термопреобразователем Т-102
Токоизмерительные клещи	Ц-90	Детекторная	2,5	15; 30; 75; 300; 600 *а*	Для измерения силы тока в цепях до 10 *кв* без разрыва цепи
Токоизмерительные клещи	Ц-91	»	4,0	10; 25; 100; 250; 500 *а*; 300; 600 *в*	То же в цепях до 600 *в*

Приборы этой системы выпускаются в астатическом исполнении, менее подверженном влиянию внешних электромагнитных полей.

Приборы электродинамической системы обладают достаточно высокой точностью (класса 0,2—0,5) и широко применяются в практике наладочных работ наряду с электромагнитными приборами.

Приборы детекторной системы обладают невысокой точностью (1,5—4%), но они универсальны, внутреннее их сопротивление при измерении напряжения достаточно велико, так что ими широко пользуются в практике наладочных работ. Если форма кривой напряжения или тока в цепях переменного тока отличается от формы синусоиды, то показания приборов детекторной системы значительно отличаются от действительных значений измеряемой величины, поэтому пользоваться такими приборами нельзя.

При измерениях в выпрямительных схемах следует помнить, что приборы магнитоэлектрической системы показывают среднее значение величины, а приборы электромагнитной системы — эффективное значение.

Значительное содержание в выпрямленном напряжении высших гармоник вносит погрешности в измерения эффективных значений напряжения и тока. Наилучшими приборами для измерения эффективных значений тока и напряжения в этих случаях следует считать приборы термоэлектрической системы.

Показания их не зависят от частоты, благодаря чему приборы термоэлектрической системы пригодны для измерения тока и напряжения в цепях с высокой частотой.

Приборы электронной системы в основном используются для измерений в схемах с электронно-ионной аппаратурой и в других случаях, когда требуется очень высокое внутреннее сопротивление прибора.

Для измерений высоких напряжений при испытаниях оборудования повышенным напряжением используют приборы электростатической системы.

Основные технические данные некоторых амперметров и вольтметров перечисленных систем, выпускаемых промышленностью и используемых в практике наладочных работ, приведены в табл. II.3 и II.4.

Если измерения не требуют большой точности (измерения при фазировке, измерения напряжений и токов срабатывания промежуточных реле, электромагнитов приводов, магнитных пускателей, некоторые измерения, связанные с испытаниями оборудования за исключением генераторов и крупных трансформаторов), могут использоваться приборы класса 1—1,5, а в некоторых случаях и класса 2,5. При наладке релейных защит, как правило, для измерений используются приборы класса 0,5. Наладка генераторов, крупных силовых трансформаторов, двигателей и другого подобного оборудования требует измерений с помощью приборов класса 0,5 и в некоторых случаях — класса 0,2.

Внутреннее сопротивление вольтметра должно быть достаточно большим. Так, в вольтметрах типа Э-59/1, широко применяемых в наладочной практике, сопротивление составляет 133 *ом/в*. Для измерений в цепях маломощных устройств — фильтров, земляных, дифференциальных защит — должны применяться вольтметры с внутренним сопротивлением 1000—2000 *ом/в*. При измерениях в схемах с электронно-ионной аппаратурой следует применять вольтметры с внутренним сопротивлением 5000—10 000 *ом/в*.

Для измерения малых значений напряжений постоянного тока (особенно в маломощных цепях) могут быть использованы переносные потенциометры.

Таблица II.4

Технические данные многопредельных приборов

Марка	Класс	Пределы измерения: по постоянному току	по постоянному напряжению	по переменному току	по переменному напряжению	Сопротивление цепи напряжения, *ом/в*: переменного	постоянного
АВО-5М1	4,0	60; 300 *мка*; 3; 30; 120 *ма*; 1; 2; 12 *а*	3; 12; 30; 300; 600; 1200; 6000 *в*	3; 30; 120 *ма*; 1; 2; 12 *а*	3; 12; 30; 300; 600; 1200; 6000 *в*	2000	20 000
Ц-20	4,0	0,3; 3; 30; 300; 750 *ма*	1,5; 6; 30; 120; 600 *в*	—	7,5; 30; 150; 600 *в*	2000	10 000
Ц-56	1,5; 2,5	0,3; 1,5; 6; 15; 60 *ма*; 0,15; 0,6; 1,5; 6 *а*	75; 300 *мв*; 1,5; 7,5; 15; 60; 150; 300; 600 *в*	1,5; 6; 15; 60 *ма*; 0,15; 0,6; 1,5; 6 *а*	300 *мв*; 1,5; 7,5; 15; 60; 150; 300; 600 *в*	667	667
Ц-57	1,5; 2,5	150 *мка*; 3; 15; 60 *ма*; 0,3; 1,5 *а*	75 *мв*; 3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	3; 15; 60 *ма*; 0,3; 1,5 *а*	3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	2000	20 000
Ц-55	2,5; 4,0	60 *мка*; 0,3; 3; 15; 60; 300; 1500 *ма*	0,75; 3; 7,5; 15; 30; 60; 150; 300; 600 *в*	0,3; 3; 15; 60; 300; 1500 *ма*	0,75; 3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	3300	80 000
Ц-434	1; 1,5; 2,5	50; 250 *мка*; 1; 5; 25; 100 *ма*; 0,5; 2,5; 5; 25 *а*	0,5; 2,5; 10; 50; 250; 500; 1000 *в*	250 *мка*; 1; 5; 25; 100; 500 *ма*; 2,5; 5; 25 *а*	50; 250; 500; 1000 *в*; 2,5; 10 *в*	200÷2000	20 000
Ц-4311 (Ц-433)	0,5; 1	0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75 *ма*; 0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5 *а*	0,075; 0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 750 *в*	3; 7,5; 15; 30; 75 *ма*; 0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5 *а*	0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 750 *в*	333	333
Ц-435 (Ц-4315)	2,5; 4	50 *мка*; 1; 5; 25; 100 *ма*; 0,5; 2,5 *а*	75 *мв*; 2,5; 1000 *в*	5; 25; 100 *ма*; 0,5; 2,5 *а*	2,5; 1000 *в*	2000	20 000
Ц-437	2,5; 4	100 *мка*; 1 *а*	2,5; 1000 *в*	—	2,5; 1000 *в*	10 000	10 000
Ф-434	2,5; 4	0,06; 0,6; 6; 60; 600 *ма*	0,3; 1,5; 12; 60; 150; 600 *в*	0,3; 3; 30; 300 *ма*	1,5; 7,5; 60; 300; 750 *в*	3380	16 700
Ц-4325	2,5; 4	0,03; 0,06; 0,3; 1; 2; 6; 30; 120; 600; 3000 *ма*	120 *мв*; 0,6; 1,2; 3; 6; 12; 30; 60; 120; 600 *в*	0,3; 1,5; 6; 30; 150; 600; 3000 *ма*	3; 6; 15; 30; 60; 150; 300; 600 *в*	4000	20 000

Таблица II.5

Технические данные лабораторных измерительных трансформаторов тока

Тип	Номинальный первичный ток, *а*	Номинальный вторичный ток, *а*	Класс точности	Номинальная вторичная нагрузка, *ом*
УТТ-5	15; 50; 100; 150; 200; 600	5	0,2	0,2 при $\cos\varphi = 0{,}8 - 1{,}0$
УТТ-6М	100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000	5	0,2	0,4 при $\cos\varphi = 0{,}8 - 1{,}0$
И-54	0,5; 1,0; 2,5; 10; 25; 50	5	0,2	0,4 при $\cos\varphi = 0{,}8 - 1{,}0$

Для увеличения пределов измеряемого напряжения применяют добавочные сопротивления (рис. II.1), а также трансформаторы напряжения (ТН) переменного и, реже, постоянного тока.

Величину напряжения можно определить по следующим формулам: при использовании добавочных сопротивлений

$$U = U_в \frac{R_в + R_д}{R_в}; \tag{II.7}$$

Таблица II.6

Технические данные лабораторных измерительных трансформаторов напряжения

Тип	Номинальные первичные напряжения, *в*	Номинальные вторичные напряжения, *в*	Класс точности	Номинальная мощность, *ва*
УТН-1	500, 380, $380/\sqrt{3}$	100, $100/\sqrt{3}$, 100/3	0,2	15; 10; 5
И-50	3000, 6000, 10 000, 15 000	100 и $100/\sqrt{3}$	0,2	
И-510	3000, 6000, 10 000, 15 000	$100/\sqrt{3}$, 100, 150	0,1	10; 15

при использовании измерительных трансформаторов

$$U = U_в K_{тн}. \tag{II.8}$$

Здесь $U_в$ — напряжение, измеряемое вольтметром, *в*; $R_в$ и $R_д$ — соответственно внутреннее сопротивление вольтметра и добавочное сопротивление, *ом*; $K_{тн}$ — коэффициент трансформации измерительного ТН.

Измерение величины постоянного тока осуществляется магнитоэлектрическими (реже электромагнитными) амперметрами, а также милливольтметром и шунтом (рис. II.2). Этот последний способ основан

на измерении падения напряжения на известном (весьма малом) сопротивлении шунта, включаемого в цепь измеряемого тока.

Измеряемая с помощью шунта величина тока определяется из выражения

$$I = \frac{\Delta U_{п}}{\Delta U_{ш.ном}} I_{ш.ном}, \quad (II.9)$$

где $\Delta U_{п}$ — показание милливольтметра, *мв*; $\Delta U_{ш.ном}$ — номинальное падение напряжения на шунте; $I_{ш.ном}$ — номинальный ток шунта.

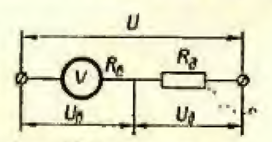


Рис. II.1. Схема включения вольтметра с добавочным сопротивлением.



Рис. II.2. Схема включения амперметра постоянного тока с шунтом.

Для подключения прибора к шунту используют калиброванные провода. При измерениях щитовыми приборами в случаях, когда применение калиброванных проводов невозможно из-за значительного удаления щитового прибора от места установки шунта, шкала прибора должна быть отградуирована с учетом сопротивления соединительных проводов, соизмеримого с внутренним сопротивлением прибора. Несоблюдение этого требования может привести к повреждению контролируемого оборудования.

Выпускаемые промышленностью щитовые милливольтметры типа М305 предназначены для измерения токов с наружным шунтом, удаленным от прибора на расстояние до 500 *м*, сечение соединительных проводов — 2,5 *мм*².

Для расширения пределов измерения амперметров переменного тока (а также при измерениях тока в цепях высокого напряжения) используются трансформаторы тока (ТТ). Широко распространены в практике наладочных работ универсальные ТТ типа УТТ-5, УТТ-6М, И-54 и др.

Основные технические данные измерительных ТТ приведены в табл. II.5 и II.6.

При использовании ТТ величина измеряемого тока определяется из выражения

$$I = I_{п} K_{т.т}, \quad (II.10)$$

где $I_{п}$ — показания прибора, $K_{т.т}$ — коэффициент трансформации ТТ.

Токи небольшой величины могут быть измерены вольтметром (в тех случаях, когда может быть допущено большое внутреннее сопротивление прибора), включаемым последовательно в цепь.

Верхний предел шкалы прибора по току в этом случае определяется из выражения

$$I_{пр} = \frac{U_{в}}{R_{в}} \ [a], \quad (II.11)$$

где $U_{в}$ — верхний предел прибора по напряжению, *в*; $R_{в}$ — сопротивление вольтметра, *ом*.

Во многих случаях величину переменного тока можно измерить без разрыва цепи с помощью токоизмерительных клещей, представляющих собой ТТ с раздвижным магнитопроводом и встроенным амперметром. В цепях напряжением до 600 *в* применяются клещи типа Ц-91, в цепях напряжением до 10 *кв* — типа Ц-90.

Косвенно ток I может быть определен по предварительно измеренному сопротивлению R (или Z) и падению напряжения на нем ΔU:

$$I = \frac{\Delta U}{R} \quad \text{или} \quad I = \frac{\Delta U}{Z} \quad (II.12)$$

При пользовании многопредельным амперметром или вольтметром истинное значение тока I или напряжения U определяют по формулам

$$\left.\begin{aligned} I &= \frac{I_{пр}}{\alpha_{пр}}\alpha = C_1\alpha \\ U &= \frac{U_{пр}}{\alpha_{пр}}\alpha = C_2\alpha \end{aligned}\right\} \quad (II.13)$$

где $I_{пр}$ и $U_{пр}$ — соответственно верхний предел измерения тока и напряжения прибора при данном положении переключателя; $\alpha_{пр}$ — число делений шкалы; C_1 и C_2 — цена деления шкалы прибора; α — показания приборов.

Измерение мощности

Мощность в электрических цепях измеряют ваттметрами электродинамической или индукционной системы (последнюю применяют только в цепях переменного тока). На рис. II.3 приведены схемы включения ваттметра для измерения мощности, потребляемой сопротивлением нагрузки $R_{наг}$ (в цепях постоянного и однофазного переменного тока). В цепь напряжения включено добавочное сопротивление $R_{д}$. Начало токовой обмотки и обмотки напряжения, так же, как и в последующих схемах, показано соответственно левой и верхней точками на обмотках ваттметра W; перемена полярности одной из обмоток приводит к отклонению стрелки ваттметра в обратную сторону.

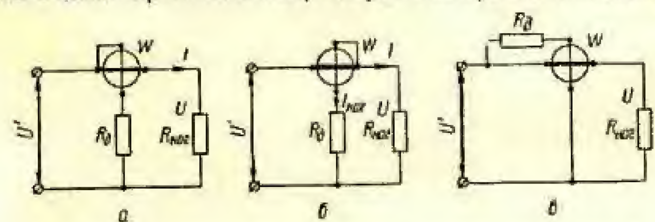


Рис. II.3. Принципиальные схемы включения ваттметра в цепь постоянного и однофазного переменного тока.

Если включить ваттметр по схеме, приведенной на рис. II.3, *а* в цепь постоянного тока, то он учтет потребляемую электроприемниками

мощность и потери в токовой обмотке ваттметра

$$P = IU' = I(U + IR_т) = IU + I^2R_т = P_{пр} + P_т, \qquad (II.14)$$

где I и U — соответственно ток и напряжение на нагрузке; U' — напряжение питания; $R_т$ — сопротивление токовой обмотки ваттметра, *ом*; $P_{пр}$ и $P_т$ — соответственно потребляемая приемниками мощность и потери мощности в токовой обмотке.

При включении по схеме, приведенной на рис. II.3, *б*, ваттметр учитывает дополнительно потери в обмотке напряжения $P_н$:

$$P = U(I + I_н) = UI + UI_н = P_{пр} + P_н. \qquad (II.15)$$

Схему, приведенную на рис. II.3, *в*, *не следует применять*, поскольку при таком включении между обмотками тока и напряжения появляется большая разность потенциалов, способная привести к пробою изоляции обмотки и вызвать дополнительную погрешность за счет электростатического взаимодействия обмоток.

Показания ваттметра, включенного в цепь переменного тока, пропорциональны произведению подведенного к нему напряжения U, тока в токовой обмотке I и $\cos\varphi$:

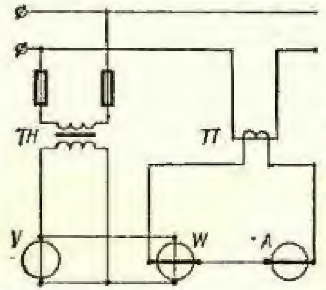


Рис. II.4. Схема включения ваттметра, амперметра и вольтметра через измерительные трансформаторы.

$$P = C_{вт}UI\cos\varphi, \qquad (II.16)$$

где $C_{вт}$ — цена деления ваттметра.

При определении мощности косвенным методом в цепи постоянного тока измеряют ток и напряжение:

$$P = UI, \qquad (II.17)$$

а в цепи переменного тока, дополнительно, с помощью фазометра,— $\cos\varphi$.

Для расширения пределов измерения ваттметра по току и напряжению применяют шунты, добавочные сопротивления и измерительные трансформаторы (рис. II.4). Цена деления ваттметра при пользовании измерительными трансформаторами

$$C_{изм} = C_{вт}K_{т.т}K_{т.н} \ [вт/дел]. \qquad (II.18)$$

Здесь $K_{т.т}$ и $K_{т.н}$ — коэффициенты трансформации соответственно ТТ и ТН; $C_{вт}$ — цена деления ваттметра при данном положении переключателей пределов по току и напряжению

$$C_{вт} = \frac{U_{пр}I_{пр}}{\alpha_{пр}} \ [вт/дел], \qquad (II.19)$$

где $U_{пр}$ и $I_{пр}$ — верхние пределы ваттметра; $\alpha_{пр}$ — количество делений шкалы ваттметра.

В процессе испытательно-наладочных работ мощность в трехфазных цепях измеряют однофазными активными ваттметрами типа Д-539 и др. В четырехпроводных сетях (три фазных провода и один нулевой) активную мощность измеряют с помощью трех однофазных ваттметров, включенных в отдельные фазы (рис. II.5). Измеряемую мощность $P_а$ определяют как сумму мощностей всех фаз

$$P_а = P_A + P_B + P_C. \qquad (II.20)$$

Не следует в этом случае пользоваться одним ваттметром, включенным в одну из фаз, так как велика вероятность неравномерности нагрузки, и погрешность измерения может оказаться значительно больше допустимой.

В трехпроводной сети (без нулевого провода), при равномерной нагрузке фаз, активную мощность $P_а$ можно определить по одной из следующих схем.

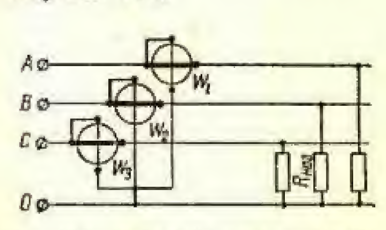


Рис. II.5. Схема включения однофазных ваттметров в четырехпроводную сеть трехфазного тока.

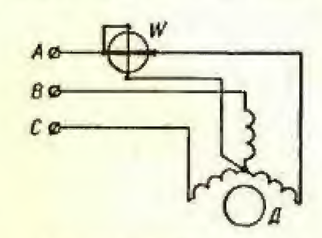


Рис. II.6. Схема измерения мощности в трехфазной трехпроводной сети одним ваттметром.

1. Схема с одним ваттметром, включенным на напряжение и ток одной и той же фазы (рис. II.6). В качестве нулевой точки используется нейтраль приемника или источника электроэнергии (двигателя, генератора и др.).

Мощность $P_а$ трех фаз определяют из выражения

$$P_а = 3P_A. \qquad (II.21)$$

Если обмотки приемника или источника электроэнергии соединены в треугольник, мощность одной фазы можно измерить по схеме, приведенной на рис. II.7.

2. В установках, где нулевая точка недоступна, мощность можно измерить одним ваттметром, создав искусственную нулевую точку (рис. II.8) обмоткой напряжения ваттметра и сопротивлениями, подключенными к двум остальным фазам (R_1 и R_2).

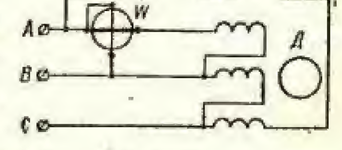


Рис. II.7. Схема измерения мощности одним ваттметром при соединении приемника электроэнергии в треугольник.

Сопротивления всех фаз, образующие звезду, должны быть равны друг другу:

$$R_1 = R_2 = R_w + R_д, \qquad (II.22)$$

где R_w — сопротивление обмотки напряжения ваттметра; $R_д$ — добавочное сопротивление цепи.

3. Согласно схеме, приведенной на рис. II.9, к ваттметру, токовая обмотка которого включена в одну фазу (A), поочередно с помощью переключателя подводят междуфазные напряжения (AB и AC).

Потребляемая мощность установки $P_а$ равна алгебраической сумме показаний ваттметра при первом (P_1) и втором (P_2) измерениях:

$$P_а = P_1 + P_2. \qquad (II.23)$$

Значения P_1 и P_2 можно измерять одновременно двумя ваттметрами. Это целесообразно тогда, когда к ваттметрам можно подвести напряжения всех трех фаз, а ток — только одной фазы.

4. Если к ваттметрам можно подвести токи двух фаз (A и C) и только одно междуфазное напряжение (AC), то мощность P_a можно измерять двумя ваттметрами по схеме, приведенной на рис. II.10, где R_1, R_2, R_3 — сопротивления нагрузки. Тогда P_a определяется из уравнения (II.23).

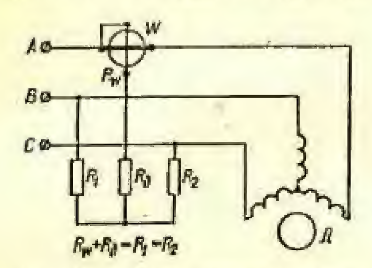


Рис. II.8. Схема измерения мощности одним ваттметром в трехфазной сети с созданием искусственной нулевой точки.

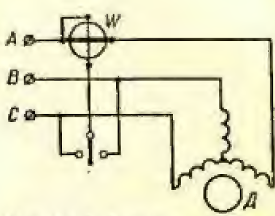


Рис. II.9. Схема измерения мощности одним ваттметром в трехфазной сети с переключением обмотки напряжения.

Активную мощность в трехпроводной сети при равномерной и неравномерной загрузках фаз можно измерить одним из следующих способов.

1. По схеме трех ваттметров, аналогичной показанной на рис. II.5, но без связи нулевой точки обмоток напряжения ваттметров с нулевым проводом сети.

2. По одному из трех вариантов схемы, приведенной на рис. II.11. В испытательной практике эти схемы применяются наиболее часто.

Реактивную мощность трехфазной установки $P_р$ определяют с помощью активных ваттметров по следующим схемам.

1. В трехпроводной сети с равномерной загрузкой фаз по одной из схем, приведенных на рис. II.11, $P_р$ определяют так:

$$P_р = \sqrt{3}(P_1 - P_2). \qquad (II.24)$$

Рис. II.10. Схема измерения мощности в трехфазной сети двумя ваттметрами при подключении к ним токов разных фаз и одного междуфазного напряжения.

В трехпроводной сети с равномерной и неравномерной загрузкой фаз $P_р$ определяют по схеме, приведенной на рис. II.12:

$$P_р = \sqrt{3}(P_1 + P_2). \qquad (II.25)$$

Сопротивление, включенное на свободную фазу (R), подбирают так, чтобы оно вместе с обмотками напряжения ваттметров и их добавочными сопротивлениями ($R_{w1} + R_{д1}$ и $R_{w2} + R_{д2}$) образовало симметричную звезду, а к ваттметрам были подведены фазовые напряжения:

$$R = R_{w1} + R_{д1} = R_{w2} + R_{д2} \qquad (II.26)$$

3. В трех- и четырехпроводной сети $P_р$ определяют по схеме трех ваттметров, включенных по напряжению «на чужие фазы» (рис. II.13 и II.14). При этом реактивная мощность

$$P_р = \frac{P_A + P_B + P_C}{\sqrt{3}} \qquad (II.27)$$

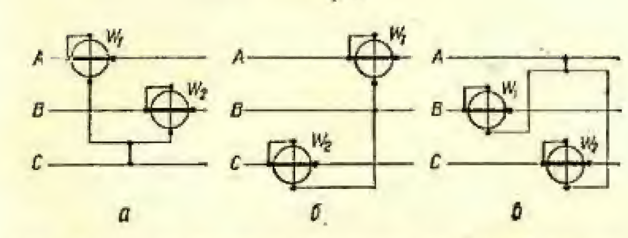


Рис. II.11. Три варианта включения ваттметров по схеме Арона.

При равномерной загрузке фаз можно ограничиться одним из ваттметров. Тогда

$$P_р = \sqrt{3}P_в. \qquad (II.28)$$

Следует иметь в виду, что при определении реактивной мощности указанными выше методами необходимо знать порядок чередования

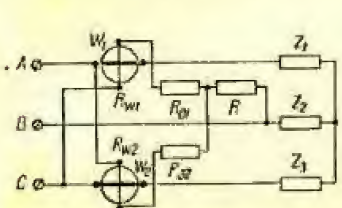


Рис. II.12. Схема измерения реактивной мощности двумя ваттметрами в сети трехфазного тока.

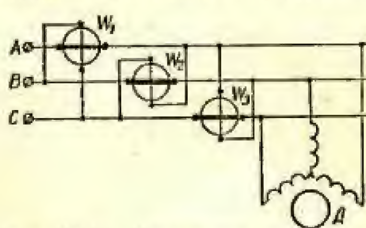


Рис. II.13. Измерение реактивной мощности тремя ваттметрами в трехфазной трехпроводной сети.

фаз сети. Если он окажется обратным, показания ваттметров во многих случаях будут отрицательными.

Реактивную мощность можно определить косвенным методом, измерив ток, напряжение и активную мощность. По средним току и напряжению рассчитывают полную (кажущуюся) мощность

$$S = \sqrt{3}U_л I_ф = 3U_ф I_ф \ [ва], \qquad (II.29)$$

где $I_ф$ и $U_ф$ — соответственно фазные ток и напряжение; $U_л$ — линейное напряжение.

Тогда реактивная мощность

$$P_р = \sqrt{S^2 - P_a^2} \ [вар]. \qquad (II.30)$$

Ниже приведены технические данные некоторых типов однофазных лабораторных ваттметров.

Таблица II.7

Технические данные ваттметров Д-566

Тип	Номинальный ток, *а*	Верхний предел шкалы, *вт*, при номинальном напряжении, *в*					Последовательная цепь		Сопротивление параллельных цепей, *ом*, при номинальном напряжении, *в*				
		75	150	300	450	600	Сопротивление, *ом*	Индуктивность, *мгн*	75	150	300	450	600
Д-566/11	5	375	750	1500	—	—	0,016	0,008	2500	5000	10 000	—	—
	10	750	1500	3000	—	—	0,0075	0,003					
Д-566/12	2,5	187,5	375	750	—	—	0,032	0,03	2500	5000	10 000	—	—
	5	375	750	1500	—	—	0,014	0,008					
Д-566/13	0,5	37,5	75	150	—	—	0,37	0,8	2500	5000	10 000	—	—
	1	75	150	300	—	—	0,097	0,2					
Д-566/14	0,15	11,25	22,5	45	—	—	4,03	8,9	2500	5000	10 000	—	—
	0,3	22,5	45	90	—	—	1,01	2,2					
ДД-566/15	2,5	—	375	750	1125	—	0,032	0,03	—	5000	10 000	15 000	—
	5	—	750	1500	2250	—	0,014	0,008					
ДД-566/16	2,5	—	—	750	1125	1500	0,047	0,06	—	—	20 000	30 000	40 000
	5	—	—	1500	2250	3000	0,013	0,015					

Таблица II.8

Технические данные ваттметров Д-539

Тип	Номинальный ток, *а*	Верхний предел измерений, *вт*, при номинальном напряжении, *в*						Последовательная цепь	
		30	75	100	150	300	600	Сопротивление, *ом*	Индуктивность, *мгн*
Д-539/1	5	150	375	—	750	1500	—	0,006	0,005
	10	300	750	—	1500	3000	—	0,003	0,002
Д-539/2	5	—	375	—	750	1500	3000	0,006	0,005
	10	—	750	—	1500	3000	6000	0,003	0,002
Д-539/3	2,5	75	187,5	—	375	750	—	0,008	0,02
	5	150	375	—	750	1500	—	0,004	0,005
Д-539/4	2,5	—	187,5	—	375	750	1500	0,008	0,02
	5	—	375	—	750	1500	3000	0,004	0,005
Д-539/5	1	30	75	—	150	300	—	0,028	0,09
	2	60	150	—	300	600	—	0,014	0,02
Д-539/6	1	—	75	—	150	300	600	0,028	0,09
	2	—	150	—	300	600	1200	0,014	0,02
Д-539/7	0,5	15	37,5	—	75	150	—	0,068	0,36
	1	30	75	—	150	300	—	0,034	0,09
Д-539/8	0,5	—	37,5	—	75	150	300	0,068	0,36
	1	—	75	—	150	300	600	0,034	0,09
Д-539/9	0,25	7,5	18,75	—	37,5	75	—	0,27	1,5
	0,5	15	37,5	—	75	150	—	0,068	0,37
Д-539/10	0,25	—	18,75	—	37,5	75	150	0,27	1,5
	0,5	—	37,5	—	75	150	300	0,068	0,37
Д-539/11	0,1	3	7,5	—	15	30	—	1,5	9
	0,2	6	15	—	30	60	—	0,37	2
Д-539/12	0,1	—	7,5	—	15	30	60	1,5	9
	0,2	—	15	—	30	60	120	0,37	2
Д-539/13	0,05	1,5	3,75	—	7,5	15	—	5,6	36
	0,1	3	7,5	—	15	30	—	1,4	9
Д-539/14	0,05	—	3,75	—	7,5	15	30	5,6	36
	0,1	—	7,5	—	15	30	60	1,4	9
Д-539/15	0,025	0,75	1,875	—	3,75	7,5	—	22,4	150
	0,05	1,5	3,75	—	7,5	15	—	5,6	38
Д-539/16	0,025	—	1,875	—	3,75	7,5	15	22,4	150
	0,05	—	3,75	—	7,5	15	30	5,6	38
Д-539/17	0,01	0,3	0,75	—	1,5	3	—	140	900
	0,02	0,6	1,5	—	3	6	—	35	220
Д-539/18	0,01	—	0,75	—	1,5	3	6	140	900
	0,02	—	1,5	—	3	6	12	35	220
Д-539/19	5	—	—	500	—	1500	—	0,0045	0,005
	10	—	—	1000	—	3000	—	0,0023	0,002
Д-539/20	5	—	—	—	750	1500	—	0,0045	0,005
	10	—	—	—	1500	3000	—	0,0023	0,002

Примечания. 1. Сопротивление параллельной цепи прибора при номинальном напряжении: 30 *в* — 10 000 *ом*; 75 *в* — 25 000 *ом*; 100 *в* — 33333 *ом*; 300 *в* — 50 000 *ом*; 600 *в* — 200 000 *ом*. 2. Номинальный ток параллельной цепи 3 *ма*.

Ваттметр Д-566 (табл. II.7). Прибор электродинамической системы. Класс точности 0,2. Номинальная область частот 45—500 *гц*. Расширенная область частот 500—1500 *гц*.

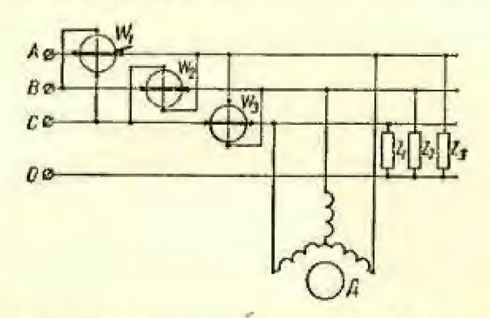


Рис. II.14. Измерение реактивной мощности тремя ваттметрами в трехфазной четырехпроводной сети.

Ваттметр Д-539 (табл. II.8). Прибор ферродинамической системы. Класс точности 0,5. Область применения — цепи постоянного и переменного тока. Номинальная область частот 65—500 *гц*.

Таблица II.9

Технические данные ваттметров Д-542

Тип	Номинальный ток, *а*	Верхний предел по мощности, *вт*, при напряжении, *в*				Данные последовательной цепи	
		30	75	150	300	Сопротивление, *ом*	Индуктивность, *мгн*
Д-542/1	0,25	0,75	1,875	3,75	7,5	2,4	2,2
	0,5	1,5	3,75	7,5	15	0,6	0,6
Д-542/2	0,5	1,5	3,75	7,5	15	0,6	0,6
	1	3	7,5	15	30	0,15	0,15
Д-542/3	2,5	7,5	18,75	37,5	75	0,08	0,03
	5	15	37,5	75	150	0,02	0,007
Д-542/4	5	15	37,5	75	150	0,03	0,007
	10	30	75	150	300	0,01	0,002

Примечание. Номинальный ток параллельной цепи всех модификаций 5 *ма*

Переносный малокосинусный ваттметр Д-542 (табл. II.9). Прибор электродинамической системы. Класс точности 0,5. Номинальный коэффициент мощности 0,1. Область применения — сети постоянного и переменного тока. Частота 45—65 *гц*. Расширенная область частот 65—400 *гц*. Отсчет — световой. В приборе восемь пределов измерении (два по току, четыре по напряжению).

Ваттметровые клещи Д-90. Область применения — измерение мощности без разрыва цепей в сетях 380/220 *в*. Пределы измерений 25—150 *квт*, класс точности — 4,0.

Измерение коэффициента мощности и угла сдвига фаз

В наладочной практике наибольшее распространение получил косвенный метод определения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) в цепях переменного тока. При этом измеряют либо ток, напряжение и мощность,

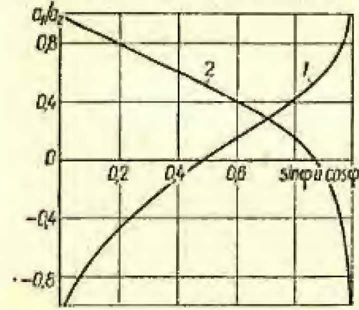


Рис. II.15. График зависимости показаний ваттметров, включенных по схеме Арона, от $\cos\varphi$ (кривая *1*) и $\sin\varphi$ (кривая *2*).

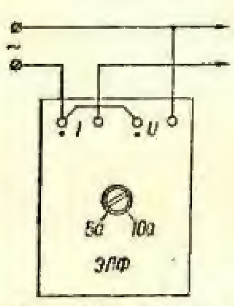


Рис. II.16. Принципиальная схема включения однофазного фазометра ЭЛФ.

либо только мощность по схеме двух ваттметров (в трехфазных трехпроводных сетях с равномерной нагрузкой фаз (см. рис. II.11).

В первом случае коэффициент мощности определяют из таких выражений:

для однофазных схем

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI}; \qquad (II.31)$$

для трехфазных схем

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U_л I}. \qquad (II.32)$$

Во втором случае определяют отношение показаний ваттметров $\frac{a_1}{a_2}$, а затем коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{\frac{a_1}{a_2}+1}{2\sqrt{\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2-\frac{a_1}{a_2}+1}} \qquad (II.33)$$

Здесь a_1 — показании ваттметра, токовая обмотка которого включена в опережающую фазу (относительно фазы второго ваттметра).

Для трех возможных вариантов включения ваттметров по схеме на рис. II.11 опережающую фазу следует определять так: при включении токовых обмоток ваттметров в фазы *A* и *B* опережающей будет фаза *A*, в фазы *B* и *C* — фаза *B*, в фазы *A* и *C* — фаза *C*.

Для упрощении вычислений по выражению (II.33) на рис. II.15 приведены кривые зависимости отношения $\frac{a_1}{a_2}$ от $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$.

Для непосредственного измерения коэффициента мощности и угла сдвига фаз используются фазометры (рис. II.16). Технические характеристики наиболее распространенных в практике наладочных работ фазометров приведены в табл. II.10.

Таблица II.10

Технические данные приборов для измерения коэффициента мощности и угла сдвига фаз (при частоте 50 *гц*)

Тип	Класс точности	Пределы измерения угла сдвига фаз и коэффициента мощности	Номинальные значения напряжения и тока	Примечания
Д-578 (ЭЛФ)	0,5	0—90—180—270—360° 1—0—1—0—1	100, 127, 220 *в* 5—10 *а*	Электродинамическая система Однофазный
Д-586	1,5	0,5 (емк.) —1— 0,5 (инд.)	100, 127, 220 *в* 5 *а*	Электродинамическая система Двухэлементный. Имеются модификации на токи 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5 и 10 *а*
Э-500/1	—	0—90—180—270—360° 1—0—1—0—1	110, 380 *в* 5 *а*	Предназначен для измерения коэффициента мощности и фазового угла между векторами тока и напряжения. Электромагнитная система
Э-500/2	—	0—90—180—270—360°	110, 380 *в*	Предназначен для измерения фазового угла между векторами напряжений. Электромагнитная система

Измерение частоты переменного тока

Частоту, близкую к 50 *гц*, в промышленных электроустановках обычно измеряют щитовыми показывающими и регистрирующими частотомерами вибрационной или ферродинамической системы. Весьма распространен стрелочный переносной частотомер типа Д-506 класса точности 1. Технические данные частотомеров типа Д-506 приведены в табл. II.11.

Высокая частота может быть измерена методом сравнения с частотой, задаваемой генератором стандартных сигналов (ГСС), генератором звуковой частоты (ЗГ) или волномером-гетеродином (ВГ). Сравнение осуществляется либо с помощью электронного осциллографа по фигурам Лиссажу, либо с помощью радионаушников по методу биения.

Таблица II.11

Технические данные частотомеров типа Д-506

Пределы измерения, *гц*	Средняя частота, *гц*	Номинальное напряжение, *в*	Цена деления шкалы, *гц*
22,5—27,5	25	100	0,05
45—55	50	100; 127; 220	0,1
55—65	60	100; 127; 220	0,1
90—110	100	36; 100; 127; 220	0,2
135—165	150	36; 100; 127; 220	0,5
180—220	200	36; 100; 127; 220	0,5
350—450	400	100; 127; 220; 380	1
380—480	430	36; 100; 127; 220	1
450—550	500	36; 100; 127; 220	1
700—900	800	36; 100; 127; 220	2
900—1100	1000	36; 100; 127; 220	2
1050—1250	1150	380	2
1200—1600	1400	380	5
1350—1650	1500	36; 100; 127; 220	5
2100—2600	2350	100; 127; 220; 500	5

Таблица II.12

Технические данные щитовых самопишущих приборов

Тип	Система	Класс точности	Пределы измерений	Назначение
Н-340 Н-352 Н-349	Магнитоэлектрическая	1,5	1—500 *ма*, 1—30 *а* при непосредственном включении; 50—750 *а*, 1—6 *ка* с наружным шунтом 75 *мв*; 15—150 *ка* с трансформатором постоянного тока И-501; 75—150 *мв*, 1,5—1000 *в*	Измерение и запись тока и напряжения в сетях постоянного тока. В приборе Н-349 запись на бумаге в прямолинейных координатах
Н-341	То же	1,5	50; 50—0—50 *мка*; 200; 200—0—200 *мка*; 1; 1—0—1 *ма*; 1—0—1; 2; 2—0—2 *мв*; 10; 10—0—10 *мв*; 50; 50—0—50 *мв*	Измерение и запись малых постоянных токов и напряжений (прибор используется в комплекте с фотокомпенсационным усилителем Ф-115)
Н-343 Н-355	Выпрямительная	2,5	5; 15; 25; 50; 150; 250; 500 *ма*; 1; 1,5; 2,5; 5 *а*; 5; 15; 25; 50; 150; 250; 500 *в*	Измерение и запись токов и напряжений в сетях переменного тока при частоте 45—10 000 *гц*

Тип	Система	Класс точности	Пределы измерений	Назначение
Н-344 Н-353	Ферродинамическая	1,5	50—500 *ма*; 1 или 5 *а*; 5—800 *а* и 1—15 *ка* с измерительными ТТ; 150—600 *в*; 3,5—350 *кв* с измерительным ТН	Измерение и запись тока и напряжения в сетях переменного тока промышленной частоты
Н-345	Выпрямительная	2,5—4,0	49—51; 48—52; 45—55 *гц*	Измерение и запись частоты в сети переменного тока промышленной частоты
Н-348 Н-354	Ферродинамическая	1,5	5 *а*; 127; 220; 380 *в*	Измерение и запись активной и реактивной мощности трехфазного переменного тока 50 *гц* без нулевого провода с неравномерной нагрузкой фаз
Н-350	То же	1,5	5 *а* при непосредственном включении и 1 или 5 *а* при включении через ТТ; 127, 220, 380 *в* при непосредственном включении и 100 *в* при включении через ТН	Измерение и запись активной мощности в однофазных сетях переменного тока 50 *гц*
Н-351	Выпрямительная	2,5	0,5 (емк.) —1—0,5 (инд.); 5 *а*; 100; 127; 220; 380 *в*	Измерение и запись коэффициента мощности однофазного переменного тока 50 *гц*
Н-390	То же	1,5; 2,5	0,005—5 *а* для обоих родов тока; 150 *мв* для постоянного тока; 5—500 *в* для обоих родов тока	Измерение и запись тока и напряжения в сети постоянного тока и переменного частотой 45—10 000 *гц*

Самопишущие приборы

В тех случаях, когда при испытательно-наладочных работах возникает необходимость в измерении и непрерывной записи электрических величин на протяжении длительных отрезков времени, могут быть использованы самопишущие щитовые приборы. В табл. II.12 приведены технические данные некоторых типов щитовых самопишущих приборов. Общий вид прибора приведен на рис. II.17.

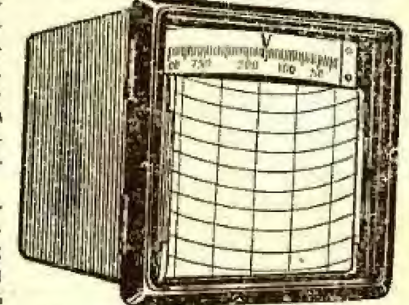


Рис. II.17. Внешний вид регистрирующего вольтметра.

Запись показаний производится чернилами на диаграммной бумаге в криволинейных координатах. Ширина рабочей части бумаги 100 *мм*. Скорость движения бумаги — 20, 60, 180, 600, 1800, 5400 *мм/ч*. Для привода диаграммной бумаги используется синхронный двигатель с питанием от сети переменного тока 127 или 220 *в*.

Измерение сопротивления постоянному току

При испытательно-наладочных работах приходится измерять сопротивления, величины которых изменяются — от десятков микроом (переходные сопротивления контактов) до тысяч мегом (сопротивления изоляции). В зависимости от величины измеряемого сопротивления и требуемой точности при этом используют: 1) омметр (либо микроомметр, мегомметр); 2) вольтметр и амперметр; 3) одинарный мост (мост Уитстона); 4) двойной мост (мост Томсона); 5) потенциометр.

На величину сопротивления постоянному току очень существенно влияет температура объекта измерения, которую определяют одним из описанных ниже способов, но чаще всего с помощью жидкостных термометров одновременно с измерением сопротивления. Пересчет сопротивлений с одной температуры (t_1) на другую (t_2) может быть произведен по выражениям:

$$R_2 = R_1 \frac{245 + t_2}{245 + t_1} \quad \text{(для алюминия);}$$
$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \quad \text{(для меди),} \qquad (II.34)$$

где R_2 и R_1 — сопротивления при температурах t_2 и t_1.

При измерении малых сопротивлений (ниже 1 *ом*) необходимо учитывать сопротивление соединительных проводов и переходные сопротивления контактов.

Если измерения производят с помощью одинарного моста или низкопредельного омметра, то сопротивление проводов и частично контактов может быть предварительно измерено тем же прибором. Значение

сопротивления вычитают из полученного результата. Не следует применять эти методы для точных измерений малых сопротивлений.

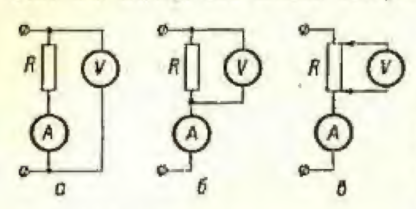


Рис. II.18. Схемы измерения сопротивления методом вольтметра — амперметра.

Измерение сопротивления с помощью двойного моста, вольтметра — амперметра, потенциометра сводится к определению падения напряжения на измеряемом сопротивлении, поэтому если потенциальные провода включены так, что они не охватывают токовые провода и контактные соединения, то последние не оказывают влияния на результат измерения. На рис. II.18, *а* и *б* в качестве примера приведены неправильные схемы измерения малых сопротивлений по методу вольтметра — амперметра, а на рис. II.18, *в* — правильная.

Измерение сопротивления с помощью омметра

Определение сопротивления омметром — непосредственный метод измерения, наименее точный из всех перечисленных выше. Омметры, рассчитанные на измерение сопротивлений от 1 *ом* до 100 *ком*, чаще всего применяют при приближенных предварительных измерениях сопротивлений, а также при проверке цепей коммутации.

Технические данные некоторых из омметров приведены в табл. II.13.

Таблица II.13

Технические данные омметров

Тип	Класс точности	Пределы измерений	Примечание
М-371	1,5	10—100 *ом*; 100—1000—10 000 *ом*; 100 *ком* —10 *мом*	Пределы измерений даны для трех модификаций. В прибор встроены батареи ФБС-0,25
М-218	1,5; 2,5	0,1—1; 1—10; 10—100 *ом*; 0,1—1; 1—10; 10—100 *ком*; 0,1—1; 1—10 *мом*	Питание прибора от сети переменного тока или от источника постоянного тока через вибропреобразователь, входящий в комплект прибора
М-57	Вне класса	0—5000 *ом*	Погрешность 10—22%. В прибор встроена сухая батарея

Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра

Этот косвенный метод определения сопротивления основан на измерении тока, протекающего через сопротивление, и падения напряжения на нем.

На рис. II.19 приведены два варианта схемы включения приборов. Схему *а* применяют при измерении малых сопротивлений, когда включение вольтметра параллельно сопротивлению изменяет величину тока незначительно.

Измеряемое сопротивление можно точно рассчитать по формуле

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_в}} \ [ом], \qquad (II.35)$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра.

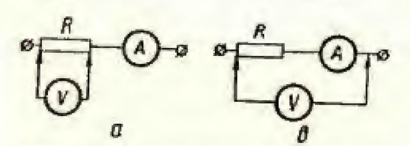


Рис. II.19. Схемы включения вольтметра и амперметра при измерении малых (*а*) и больших (*б*) сопротивлений.

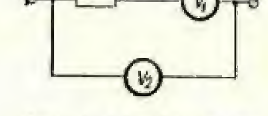


Рис. II.20. Схема измерения сопротивления одним (двумя) вольтметром.

Схему *б* (рис. II.19) применяют при измерении больших сопротивлений, для которых справедливо выражение

$$R = \frac{U - IR_а}{I} \ [ом], \qquad (II.36)$$

где $R_а$ — сопротивление амперметра.

При измерении вольтметром и амперметром во избежание нагрева сопротивления ток не должен превышать 20% номинального. Длительность измерения следует ограничивать временем, необходимым для надежных отсчетов по приборам. Вольтметр и амперметр при измерениях следует располагать рядом; показания приборов нужно снимать одновременно.

Большие сопротивления можно измерять с помощью одного (или двух) вольтметров по схеме, приведенной на рис. II.20. По показаниям вольтметра U_1 и U_2 сопротивление рассчитывают согласно выражению

$$R = R_в\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right), \qquad (II.37)$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра.

Для исключения ошибок, обусловленных индуктивностью измеряемой цепи, отсчет осуществляют при установившихся показаниях измерительных приборов. При измерениях сопротивления в цепях, обладающих значительной индуктивностью, для предотвращения повреждения вольтметра э. д. с. самоиндукции объекта вольтметр следует подключать при установившемся значении тока в цепи, а отключать — до разрыва цепи тока. Кроме того, испытуемые обмотки сами могут быть повреждены при отключении больших токов в результате пробоя их изоляции. Поэтому перед отключением измерительный ток следует снизить до минимума (не более 5% номинального тока данной обмотки).

Измерение сопротивления с помощью одинарного моста (моста Уитстона)

Принципиальная схема одинарного моста приведена на рис. II.21. Результаты при измерении сопротивлений от 1 до 1 000 000 *ом* получаются надежные и точные.

Основное соотношение одинарного моста

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2} \quad [ом], \qquad (II.38)$$

где R_x — измеряемое сопротивление; R_1, R_2, R_3 — сопротивления плеч моста, при которых наступает его равновесие (стрелка гальванометра устанавливается на нулевой отметке).

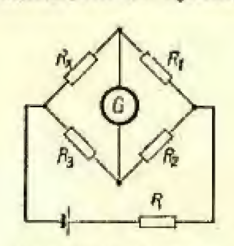


Рис. II.21. Принципиальная схема одинарного моста.

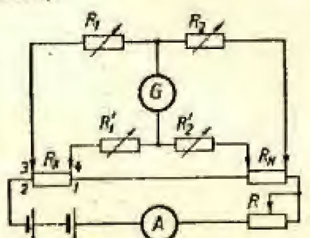


Рис. II.22. Принципиальная схема двойного моста.

Мост может быть собран из отдельных элементов, тогда плечи его R_1, R_2, R_3 выполняют из магазинов сопротивлении. Плечи R_2 и R_3 могут быть выполнены из калиброванной проволоки (реохорда), по которой перемещается движок, соединенный с гальванометром *G*.

Измерение сопротивления с помощью двойного моста (моста Томсона)

Как правило, измерение сопротивления меньше 1 *ом* с помощью одинарного моста не дает достаточно точного результата, поскольку на него влияют сопротивления соединительных проводов и переходных контактов. Этот недостаток в значительной степени устраняется при использовании двойного моста. Принципиальная схема этого моста приведена на рис. II.22.

Изменением сопротивлений R_1, R_2, R_1' и R_2' гальванометр устанавливают на нуль. При этом сохраняются равенства

$$R_1 = R_1' \quad и \quad R_2 = R_2'. \qquad (II.39)$$

Уравнение равновесия моста

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2}, \qquad (II.40)$$

где R_N — образцовое сопротивление, составная часть моста.

К измеряемому сопротивлению R_x подсоединяют четыре провода (см. рис. II.22). Провод *2* — продолжение цепи питания моста, его сопротивление не отражается на точности измерений. Провода *3* и *4*

включены последовательно с сопротивлениями R_1 и R_1', большими 10 *ом*, так что их влияние в известных пределах ограничено. Провод *1* является составной частью схемы; его следует выбирать как можно толще и короче, хотя и он оказывает значительно меньшее влияние на результат измерения, чем соединительные провода в одинарном мосте. В табл. II.14 приведены технические данные некоторых мостов постоянного тока, выпускаемых отечественной промышленностью.

Таблица II.14

Технические данные мостов постоянного тока

Тип	Пределы измерений, *ом*	Погрешность, %	Примечание
ММВ	0,05—5; 0,5—50; 5—500; 50—5000; 500—50 000	5—15	Одинарный мост. Питание от батареи сухих элементов
Р-333	$5 \cdot 10^{-3}$—$999{,}9 \cdot 10^{3}$	0,5—5	Одинарный мост. Питание от наружной или внутренней батареи сухих элементов
Р-316	10^{-5}—10^{6}	0.2—5	Одинарный мост. Питание от сети переменного тока 127 или 220 *в*
МО-62	$2 \cdot 10^{-5}$—10^{6}	0,1—5	Одинарный мост. Питание от наружной или внутренней батареи, а также от сети 127/220 *в*

Одинарный мост Р-316 позволяет проводить измерения малых сопротивлений по четырехзажимной схеме, исключающей влияние сопротивления соединительных проводов на результат измерений. Конструкция моста позволяет использовать его в качестве магазина сопротивления, а также использовать внутренний гальванометр. Кроме того, можно работать с наружным гальванометром. В качестве наружных используют гальванометры М122, М117 и др. (технические данные гальванометров М122 приведены в табл. II.15).

Таблица II.15

Технические данные гальванометров М122

Цена деления, *а/дел*	Сопротивление, *ом*	
	внутреннее	внешнее критическое
$1 \cdot 10^{-7}$	5000 ± 2000	5000—15 000
$3 \cdot 10^{-7}$	1000 ± 300	500—1500
$1 \cdot 10^{-6}$	100 ± 15	50—150
$3 \cdot 10^{-6}$	10 ± 3	5—15
$4 \cdot 10^{-7}$	200 ± 50	650—2000

При измерениях сопротивления в цепях, обладающих индуктивностью, во избежание ошибок и для предотвращения повреждений гальванометра необходимо производить измерения при установившемся токе, а отключение гальванометра — до разрыва цепи тока.

Измерение сопротивления с помощью потенциометра

Этот способ можно применять при измерении малых сопротивлений. Заключается он в том, что последовательно с измеряемым сопротивлением R_x включают образцовое сопротивление R_N, близкое по величине к измеряемому. Через оба сопротивления пропускают постоянный ток и с помощью потенциометра определяют падение напряжения сначала на образцовом, затем на измеряемом и, наконец, опять на образцовом сопротивлении. Последнюю операцию проводят для того, чтобы убедиться, что ток в процессе измерений не изменился (рис. II.23). Измеряемое сопротивление

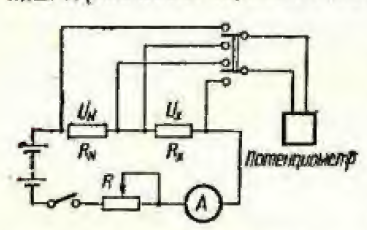


Рис. II.23. Схема измерения сопротивлений с помощью потенциометра.

$$R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} \ [ом], \qquad (II.41)$$

где U_x и U_N — падение напряжения соответственно на измеряемом и образцовом сопротивлениях, *в* или *мв*.

Измерение активных, индуктивных, емкостных и полных сопротивлений переменному току

Величина емкостных и индуктивных, а также — в меньшей мере — активных сопротивлений зависит от частоты переменного тока. На емкость и особенно на индуктивность влияет величина тока и напряжения, а также форма их кривой. Поэтому для таких сопротивлений обычно задают условия, при которых их следует измерять.

В некоторых случаях снимают вольт-амперные характеристики, т. е. определяют зависимость тока от подводимого к сопротивлению напряжения $I = f(U)$ и величину сопротивления (в общем случае полного) по формуле

$$Z = \frac{U}{I} \ [ом] \qquad (II.42)$$

при нескольких значениях тока; в случае необходимости можно построить кривую зависимости $Z = f(I)$ или $Z = f(U)$.

Определение активного сопротивления и индуктивности с помощью вольтметра, амперметра и ваттметра

Схему, приведенную на рис. II.24, *а*, применяют в тех случаях, когда измеряемое сопротивление велико; если же оно мало, используют схему, показанную на рис. II.24, *б*. По измеренным току I, напряжению U и мощности P можно определить полное сопротивление Z, активное сопротивление

$$R = \frac{P}{I^2} \ [ом] \qquad (II.43)$$

и реактивное (в данном случае индуктивное) сопротивление

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{\sqrt{U^2 \cdot I^2 - P^2}}{I^2} \ [ом]. \qquad (II.44)$$

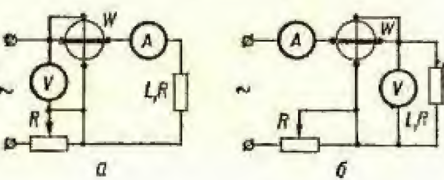


Рис. II.24. Схемы для определения индуктивного и активного сопротивлений.

Индуктивность определяется так:

$$L = \frac{X}{\omega} = \frac{X}{2\pi f} \ [гн]. \qquad (II.45)$$

Определение взаимной индуктивности

Определение с помощью вольтметра и амперметра. В первичной цепи (рис. II.25) устанавливается ток I и измеряется соответствующая ему э. д. с. E, индуктируемая во вторичной цепи (сопротивление вольтметра должно быть как можно большим).

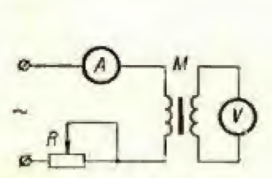


Рис. II. 25. Схема для определения взаимной индуктивности.

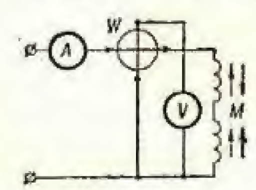


Рис. II.26. Схема для определения взаимной индуктивности при последовательном соединении катушек.

Взаимную индуктивность M определяют так:

$$M = \frac{E}{I\omega} \ [гн]. \qquad (II.46)$$

Для уменьшения погрешности измерения вольтметр должен обладать возможно большим внутренним сопротивлением. Наиболее точные результаты будут получены при использовании вольтметра электростатической системы.

Метод последовательного соединения катушек. Катушки взаимной индуктивности соединяют последовательно друг с другом так, чтобы создаваемые ими потоки складывались согласно. Затем включают

вольтметр, амперметр и ваттметр по схеме, приведенной на рис. II.26, и определяют индуктивность

$$L_1 = \frac{\sqrt{U_1^2 I_1^2 - P_1^2}}{2\pi f I_1^2} \ [гн].$$

После этого катушки взаимной индуктивности включают встречно и, повторяя измерения, получают

$$L_2 = \frac{\sqrt{U_2^2 I_2^2 - P_2^2}}{2\pi f I_2^2} \ [гн].$$

Взаимная индуктивность

$$M = \frac{L_1 - L_2}{4} \ [гн]. \qquad (II.47)$$

Измерение емкости

Измерения с помощью вольтметра, амперметра и ваттметра. Если потерями в конденсаторе можно пренебречь, измеряемую емкость (см. рис. II.24) определяют так:

$$C = \frac{I10^6}{U2\pi f} \ [мкф]. \qquad (II.48)$$

С учетом же потерь

$$C = \frac{I^2 10^6}{2\pi f \sqrt{U^2 I^2 - P^2}} \ [мкф]. \qquad (II.49)$$

Непосредственное измерение емкости. Для измерения емкости применяют приборы типа логометра, отградуированного в фарадах или микрофарадах (так называемые фарадметры или микрофарадметры).

Емкость можно измерять и универсальными приборами (в том числе электронными).

Микрофарадметр Д-524М предназначен для измерения емкости конденсаторов с рабочим напряжением не ниже 150 *в* эффективных и тангенсом угла диэлектрических потерь не более 3%. Прибор электродинамической системы. Класс точности 1,0. Питание от сети 127 *в*. Пределы измерения 1; 2; 5 и 10 *мкф*. Потребляемая мощность не больше 70 *ва*.

Измерение с помощью моста переменного тока. Емкость чаще всего измеряют переносными мостами переменного тока. Широкое распространение в наладочной практике получил мост МД-16.

Определение чередования фаз

Определение чередования фаз в трехфазных системах необходимо при наладке вращающихся машин, фазировке, наладке релейной защиты, проверке правильности включения измерительных приборов и т. д.

Для определения чередования фаз применяются фазоуказатели. Наиболее простым и удобным является фазоуказатель И-517 — асинхронный микроэлектродвигатель, рассчитанный на напряжение 50—500 *в* и рабочую частоту 40—60 *гц*.

Для определения чередования фаз могут быть использованы и комбинированные приборы: универсальный фазоуказатель Э-500, вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85.

Кроме того, можно собрать специальную схему (рис. II.27) для определения чередования фаз. В такой схеме лампа, включенная в фазу, отстающую от фазы с емкостью, будет гореть ярко.

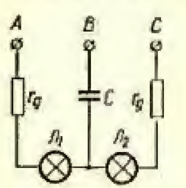


Рис. II.27. Схема лампового фазоуказателя.

Поверка электроизмерительных приборов

При наладочных работах иногда возникает необходимость в поверке электроизмерительных приборов. Повреждения приборов (поломка или износ камней и кернов, обрыв или замыкание обмоток и т. п.) происходят при перевозке, монтаже или в процессе длительной эксплуатации. Кроме поверок, производимых наладочной или эксплуатирующей организацией, поверки периодически проводят представители Комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР. Каждый прибор должен иметь клеймо, свидетельствующее о прохождении государственной поверки.

В процессе поверки выполняются следующие операции: внешний осмотр, предварительные испытания, сборка схемы, поверка показаний прибора.

При внешнем осмотре выявляют дефекты, которые заведомо препятствуют нормальной работе прибора, если даже они не влияют на правильность его показаний (например, поломка стекла, нарушение уплотнения, окраски, никелировки, контактных соединений и т. п.).

При предварительных испытаниях измеряют сопротивление, проверяют изоляцию прибора (величина испытательного напряжения указывается на шкале) и уравновешенность подвижной части (при отклонении прибора на 5—10° от нормального положения не должно быть изменений его показаний) и контролируют успокоение колебаний.

В схеме поверки в качестве образцовых приборов необходимо использовать такие приборы, у которых максимально допустимые погрешности по крайней мере в пять раз меньше погрешностей поверяемого прибора:

Класс поверяемого прибора	Класс (вид) образцового прибора
4,0; 2,5	0,5
1,5; 1,0	0,2
0,5	0,1
0,2; 0,1	Потенциометр

Поверка показаний прибора заключается в том, что поверяемым и образцовым приборами одновременно измеряют одну и ту же величину и определяют приведенную относительную погрешность (на каждом делении поверяемого прибора)

$$\varepsilon_{пр} = \frac{A_x - A_0}{A_в - A_н}, \qquad (II.50)$$

где A_x и A_0 — показания соответственно поверяемого и образцового приборов; $A_в$ и $A_н$ — соответственно верхний и нижний пределы шкалы поверяемого прибора.

Величина $\varepsilon_{пр}$ не должна превышать класс точности поверяемого прибора ни на одном из оцифрованных делений шкалы.

Условия определения погрешности (они предусмотрены ГОСТами): отсутствие влияния внешних факторов (магнитных и электростатических полей и т. п.), могущих исказить показания приборов; нормальный режим приборов (напряжение, частота); нормальное положение приборов (согласно знаку на шкале); предварительная установка стрелки (указателя) на нуль с помощью корректора; предварительный прогрев приборов номинальным током в течение не менее 15 *мин*.

При поверке щитовых приборов и переносных лабораторных приборов класса 0.5 чаще всего используют метод сличения. Щитовые приборы обычно поверяют на месте их установки, переносные — в лаборатории. Для поверки применяют специальные поверочные устройства или собирают схему на месте.

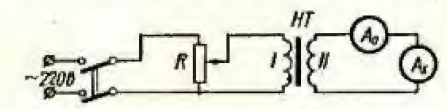


Рис. II.28. Схема поверки вторичных амперметров переменного тока.

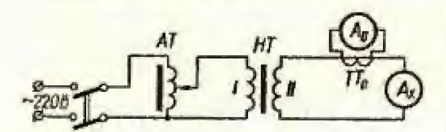


Рис. II.29. Схема поверки амперметров переменного тока непосредственного включения.

Для поверки амперметров переменного тока со шкалой до 5 *а*, которые обычно применяют в электросиловых установках, собирают схему согласно рис. II.28. Мощность нагрузочного трансформатора (НТ) может не превышать 30 *ва* при вторичном напряжении 6 *в*. Сопротивление ползункового реостата R — 200—300 *ом* для обеспечения плавной регулировки тока во всех частях шкалы поверяемого A_x и образцового A_0 амперметров. Вместо реостата может быть применен регулировочный автотрансформатор (АТ).

Амперметры переменного тока прямого включения с пределом измерения до 300 *а* поверяют по специальной схеме (рис. II.29). Регулировочный АТ выбирают на ток 8 *а* (ЛАТР-1, РНО-250-2), НТ имеет мощность 500 *ва*, вторичное напряжение 6 *в*. Амперметр A_0 включают через лабораторный трансформатор тока TT_0, первичный ток которого равен номинальному току поверяемого амперметра A_x.

По сути, амперметры постоянного тока, рассчитанные на включение с наружными шунтами, представляют собой милливольтметры; их поверяют отдельно от шунтов (рис. II.30). Сопротивление реостатов: на рис. II.30, *а* $R_1 = R_2 = 100—300$ *ом*; на рис. II.30, *б* $R_1 = 10$; $R_2 = (100—300)$ *ом*.

Образцовый милливольтметр mV_0 присоединяют к схеме калиброванными проводами; для поверяемого прибора mV_x сопротивление проводов должно быть равно значению, указанному на шкале. Одновременно с поверкой милливольтметра следует измерить сопротивление проводов, связывающих его с шунтом. Сопротивление этой цепи подгоняют либо изменяя сечение соединительных проводов, либо с помощью подгоночной катушки, помещенной внутри милливольтметра.

Для поверки амперметров постоянного тока без наружных шунтов с пределами измерения 100 *а* и больше используют схему (рис. II.31) со ступенчатым реостатом R_1 и ползунковым реостатом R_2, служащими для плавной регулировки тока. Источником питания в этой схеме мо-

жет служить переносная аккумуляторная батарея или генератор постоянного тока.

При наладке предпочтительна схема (рис. II.32), в которой используется источник питания переменного тока с последующим выпрямлением его селеновыми или германиевыми выпрямителями *В*. Конденсаторы *С* (электролитические, емкостью 2000—20 000 *мкф* на 20 *в*) служат для сглаживания пульсаций выпрямленного тока. Последовательное включение двух регулировочных АТ позволяет более плавно регулировать величину тока.

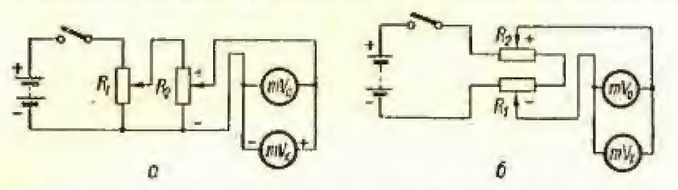


Рис. II.30. Схемы поверки амперметров постоянного тока, рассчитанных на включение с наружными шунтами.

Вольтметры переменного тока проще всего поверить по схеме (рис. II.33), в которой напряжения изменяются регулировочным АТ или — более плавно — ползунковым реостатом R (на 100 *ом*).

Для поверки вольтметров с пределами измерения 3—600 *в* удобна переносная установка (рис. II.34). Нагрузочный трансформатор этой установки имеет отпайки вторичной обмотки на 3; 15; 75; 150; 300 и 650 *в* (мощность прибора 100—200 *ва*).

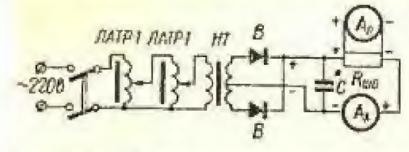


Рис. II.32. Схема поверки амперметров постоянного тока с помощью выпрямителей.

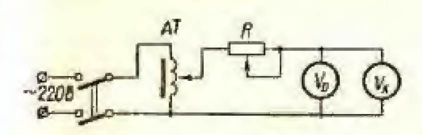


Рис. II.33. Схема поверки вольтметров переменного тока.

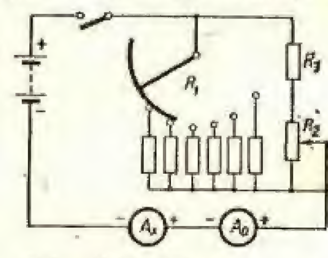


Рис. II.31. Схема поверки амперметров постоянного тока с внутренним шунтом.

Для поверки милливольтметров переменного тока, главным образом ламповых, в схему (рис. II.35) поверяемый милливольтметр V_x включают через делитель напряжения, собранный на активных сопротивлениях R_1 и R_2 с соотношением плеч 10 000 : 1 и более; в качестве образцового применяют лабораторный вольтметр V_0 с пределами измерения 75—150 *в*.

При поверке вольтметров постоянного тока вместо регулировочного АТ (см. рис. II.33) применяют регулировочный потенциометр:

источник переменного тока заменяют аккумуляторной батареей или сухими элементами. Широко применяются также схемы с выпрямителями.

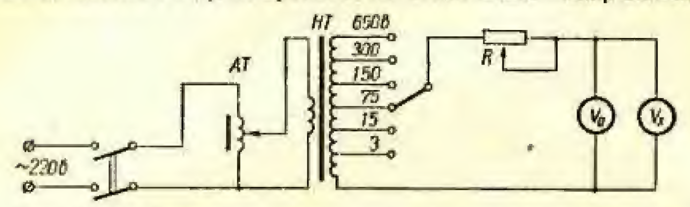


Рис. II.34. Принципиальная схема переносной установки для поверки вольтметров напряжением до 600 *в*.

Трехфазные двухэлементные ваттметры W_x, наиболее часто применяющиеся в электроустановках, поверяют по схеме с искусственным разделением цепей тока и напряжения (рис. II.36).

Рис. II.35. Схема поверки милливольтметров переменного тока (ламповых).

Ток и напряжение в фазах регулируют регулировочными автотрансформаторами AT_1 и AT_2 и реостатами *R* (ток). Требуемый угол сдвига фаз между током и напряжением устанавливают с помощью фазорегулятора *ФР*. В качестве образцовых используют лабораторные однофазные ваттметры W_1 и W_2.

По этой же схеме можно поверить трехфазный фазометр, включив его вместо ваттметра W_x. Образцовыми приборами будут те же ваттметры W_1 и W_2.

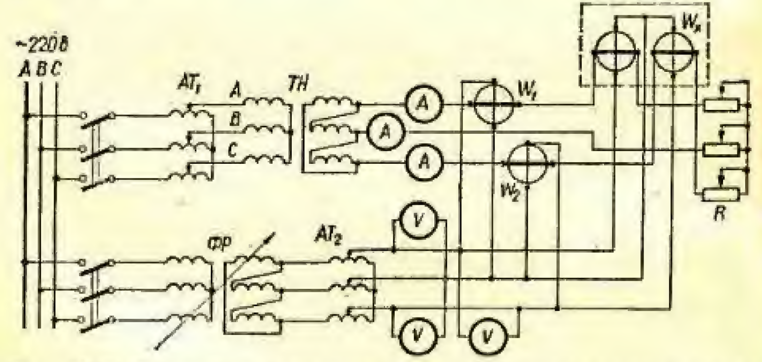


Рис. II.36. Принципиальная схема переносной установки для поверки трехфазных ваттметров.

Если поверка трехфазных ваттметров по описанной выше схеме в условиях наладки затруднительна, то допустимо заменить ее однофазной схемой.

Обмотки двух- и трехэлементных трехфазных ваттметров соединяют, как указано на рис. II.37, т. е. все токовые обмотки — последо-

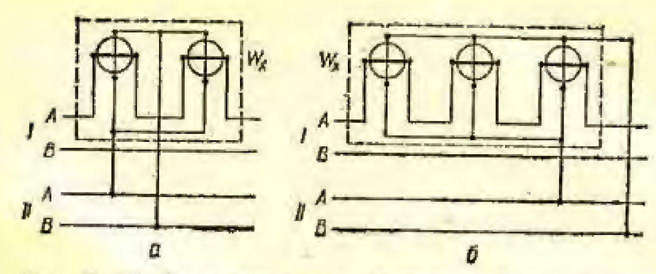


Рис. II. 37. Схема соединения обмоток трехфазных ваттметров при поверке их в однофазной схеме.

вательно, а обмотки напряжения — параллельно. Показания поверяемых ваттметров W_x сравнивают с показаниями однофазного ваттметра. Его показания следует умножить на два (для рис. II.37, *а*) или на три (для рис. II.37, *б*).

Измерение времени

Время длительностью от нескольких минут до нескольких часов измеряют с помощью обычных ручных либо стационарных часов. Промежутки времени от нескольких секунд до нескольких минут измеряют пружинными секундомерами (хронометрами).

При измерении времени 0,1—10 *сек* в наладочной практике применяют электрические секундомеры (рис. II.38). Схема соединений переносного лабораторного электрического секундомера приведена на рис. II.39. Секундомер можно остановить, отключая его от сети или

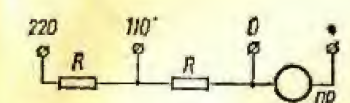


Рис. II.39. Схема соединений электрического секундомера ПВ-53Л.

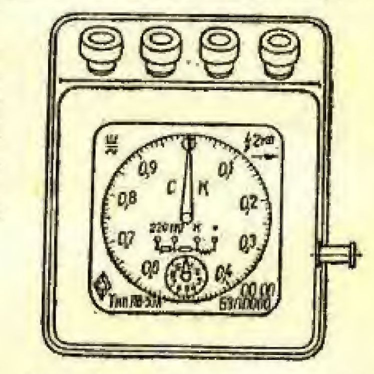


Рис. II.38. Внешний вид электрического секундомера.

шунтируя поляризованное реле *ПР* при замыкании накоротко зажимов 0 и *.

Секундомер ПВ-53Л. Номинальное напряжение 110 и 220 *в*; допустимые колебания напряжения ±20%. Номинальная частота 50 *гц*. Цена деления большой шкалы 0,01 *сек*, верхний предел 1 *сек*; цена деления малой шкалы 1 *сек*, верхний предел 10 *сек*. Погрешность (максимальная) при номинальной частоте в диапазоне 0—3 *сек* составляет ± 0,03 *сек*, в диапазоне 3—10 *сек* — ± 0,05 *сек*. Потребляемая мощность 5 *ва* при 110 *в*, 10 *ва* при 220 *в*.

При частоте, отличной от 50 *гц*, в показания секундомера должна быть внесена поправка

$$t_{и} = t\,\frac{50}{f_{и}}, \tag{II.51}$$

где $t_{и}$ — измеряемое время; t — показание секундомера; $f_{и}$ — частота сети, при которой производилось измерение времени.

Для измерения сотых, тысячных, десятитысячных долей секунды применяют милли- и микросекундомеры.

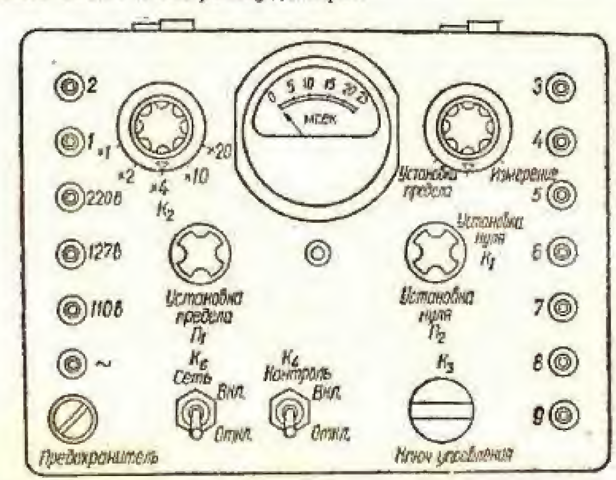


Рис. II.40. Общий вид передней панели миллисекундомера типа ЭМС-54

Миллисекундомер ЭМС-54 (рис. II.40) представляет собой электронный прибор, принцип действия которого основан на измерении катодным вольтметром остаточного напряжения U конденсатора C, заряжаемого током I неизменной величины. Напряжение

$$U = \frac{It}{C}. \tag{II.52}$$

Напряжение пропорционально времени протекания тока t, поэтому шкала прибора может быть отградуирована в единицах времени.

Миллисекундомер типа ЭМС-54 имеет пять пределов измерений времени (0—25; 0—50; 0—100; 0—250; 0—500 *мсек*) и три предела напряжения питания (переменного тока) — 110, 127, 220 *в*.

Измерение температуры

Необходимость измерения температуры возникает при испытании на нагрев, измерении сопротивления постоянному току, проверке состояния изоляции и т. д.

Температуру измеряют с помощью жидкостно-стеклянных термометров расширения, термоэлектрическим способом, с применением термометров сопротивления, индикаторов температуры.

Измерение температуры с помощью жидкостно-стеклянных термометров расширения

Жидкостно-стеклянные термометры выпускают заполненными ртутью или спиртом. Спиртовые термометры применяют реже; им отдается предпочтение при измерении в зоне действия сильных магнитных полей. Термометры разделяют на лабораторные палочные (толстостенная трубка со шкалой), лабораторные с вложенной шкалой (в том числе и нормальные — с ценой деления 0,1° С), технические прямые и угловые. Термометры на заводе градуируют при полном погружении их в нагреваемую среду, а так как при работе их с нагретым телом или средой соприкасается только баллончик и часть капилляра, при измерении следует вносить поправку на температуру выступающего столбика ртути

$$\Delta t = kh\,(t_{т} - t_{в})\ [°C], \tag{II.53}$$

где k — коэффициент расширения жидкости в стеклянном капилляре (обычно 0,000167); h — высота выступающего столбика, °С; $t_{т}$ — показания термометра, °С; $t_{в}$ — температура окружающего воздуха, измеренная контрольным термометром, °С.

Поправку алгебраически прибавляют к основным показаниям. Термометр должен быть расположен так, чтобы удобно было снимать показания. Если измеряют температуру потока жидкости или газа, то баллончик термометра нужно располагать в центре потока под углом к оси трубопровода, навстречу потоку. При измерении температуры в трубопроводах или резервуарах, находящихся под давлением, термометры вставляют в запаянные трубки, вваренные в месте измерения температуры. Для улучшения теплопередачи трубки заполняют маслом или медными опилками.

Термоэлектрический способ измерения температуры

Этот способ основан на термоэлектрическом эффекте, смысл которого заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников (термопара), при условии перепада температур на спаях проводников возникает постоянный электрический ток. Величина его

$$I = \frac{E}{R}\ [ма], \tag{II.54}$$

где R — сопротивление цепи, *ом*; E — термо-э. д. с., пропорциональная разности температур спаев термопары,

$$E = f\,(\Delta t). \tag{II.55}$$

Э. д. с. можно измерять милливольтметром, потенциометром, гальванометром или другим чувствительным прибором, включенным в цепь термопары.

Если холодный спай поместить в термостат с температурой 0° С (с тающим льдом), показания измерительного прибора будут пропорциональны температуре горячего спая. Горячий спай может быть очень малым по размерам и пригоден для измерения температуры в труднодоступных местах; ему можно придать форму иглы или пластинки.

Если же температура холодного спая t_x не равна нулю, то температура горячего спая

$$t_{г} = \Delta t + t_x. \tag{II.56}$$

где Δt — разность температур спаев, измеренная электрическим прибором, °C.

Применяются такие термопары: ХК — хромель-копелевые (термо-э. д. с. на каждые 100° С составляет 6,95 *мв*); ХА — хромель-алюмелевые (термо-э. д. с. на каждые 100° С — 4,1 *мв*); ПП — платинородий-платиновые (термо-э. д. с. на каждые 100° С — 0,64 *мв*); МК — медь-константановые (термо-э. д. с. на каждые 100° С — 4,16 *мв*).

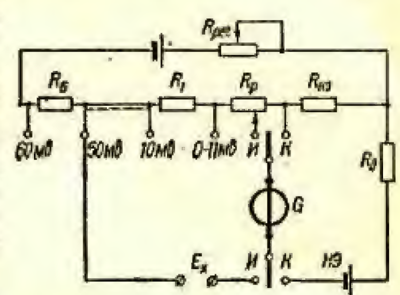


Рис. II.41. Принципиальная схема переносного потенциометра типа ПП:

$R_{рег}$ — регулировочный реостат; $R_р$ — реохорд потенциометра; R_1, R_2, R_4, R_5, $R_б$ — сопротивления для ступенчатого изменения пределов измерения э. д. с.; $R_{н.э}$ — образцовое сопротивление, падение напряжения на котором сравнивают с э. д. с. нормального элемента *НЭ* при установке рабочего тока; $R_д$ — защитное сопротивление *НЭ*; E_x — измеряемая э. д. с.; *И* и *К* — положения переключателя соответственно при измерении и при контроле.

В испытательно-наладочной практике термо-э. д. с. чаще всего измеряют переносными потенциометрами.

На рис. II.41 в качестве примера изображена принципиальная схема довольно распространенного потенциометра типа ПП (снят с производства). Выпускаемый промышленностью переносный потенциометр ПП-63 имеет пределы измерения 0—25; 0—50; 0—100 *мв*. Встроенный в прибор гальванометр имеет постоянную по току $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ *а/дел*, внутреннее сопротивление 18 *ом*, внешнее критическое — 250 *ом*.



Рис. II.42. Схема встречного (дифференциального) включения термопар:

1 — рабочие концы термопар; *2* — свободные концы термопар; *3* — соединительные провода; *ИП* — измерительный прибор.

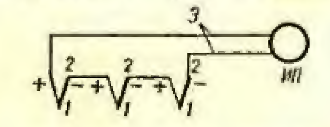


Рис. II.43. Схема термобатареи (условные обозначения те же, что на рис. II.42).

Термоэлектрическим способом можно измерять разность температур в двух точках (рис. II.42). Чтобы повысить термо-э. д. с., термопары включают последовательно, при этом они образуют термобатареи (рис. II.43).

Измерения с помощью термометров сопротивления

Рассматриваемый способ основан на том, что сопротивление электрических проводников изменяется в зависимости от температуры. Зная зависимость между изменением сопротивления постоянному току проводников и температурой, можно, измерив сопротивление, определить температуру проводников.

К достоинствам этого метода следует отнести высокую точность при небольших отклонениях измеряемой температуры от окружающей, возможность дистанционного измерения температуры (так же, как и с помощью термопар), возможность измерения средней температуры протяженных объектов (например, стержней обмотки электрической машины).

Термометр сопротивления представляет собой тонкую медную или платиновую проволоку (другие металлы применяются реже), намотанную на каркас и заключенную в защитную арматуру (рис. II.44). Величина сопротивления в процессе испытаний определяется с помощью переносного моста постоянного тока; в стационарных условиях для этой цели применяют логометры или автоматические мосты.

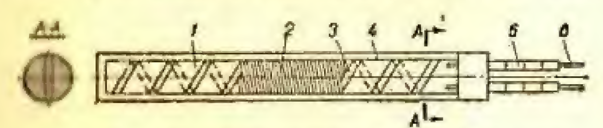


Рис. II.44. Схема платинового термометра сопротивления:

1 — слюдяные накладки; *2* — пластинка; *3* — обмотка; *4* — чехол; *5* — фарфоровые изоляторы; *6* — серебряные выводы.

Температуру в первом приближении можно вычислить по таким формулам:

для медных термометров сопротивления

$$t = \frac{R - R_0}{R_0}(235 + t_0) + t_0; \tag{II.57}$$

для платиновых

$$t = \frac{R - R_0}{R_0}(255 + t_0) + t_0, \tag{II.58}$$

где R и R_0 — сопротивление соответственно при температуре t и начальной температуре t_0 (обычно 0° С).

Более точно температуру можно определить с помощью градуировочных таблиц (ГОСТ 6651-59).

Для определения температуры электрических проводников (обмоток машин, трансформаторов и аппаратов, сопротивлений, реостатов и т. п.) этот способ можно использовать, непосредственно измеряя их сопротивление.

Измерение скорости вращения

При испытательно-наладочных работах часто приходится измерять скорость вращения роторов электрических машин или других вращающихся элементов. Наиболее распространен способ измерения скорости вращения с помощью тахометров (стационарных и переносных).

Тахометр ручной магнитный ИО-30 (рис. II.45) предназначен для периодического измерения угловых скоростей вращающихся валов различных машин. Конструкция тахометра основана на использовании вращающего момента, возникающего при вращении постоянного

магнита в полом алюминиевом колпачке, в котором создаются вихревые токи. В корпусе прибора смонтированы редуктор с тремя диапазонами переключения и реверсивный механизм. Тахометр измеряет скорости в таких диапазонах: 30—300; 300—3000; 3000—30 000 *об/мин*.

Скорость вращения, кроме тахометра, можно измерять одним из следующих приборов:

1) счетчиком оборотов и пружинным секундомером; при этом средняя за промежуток времени скорость определяется как частное от деления числа оборотов на время;

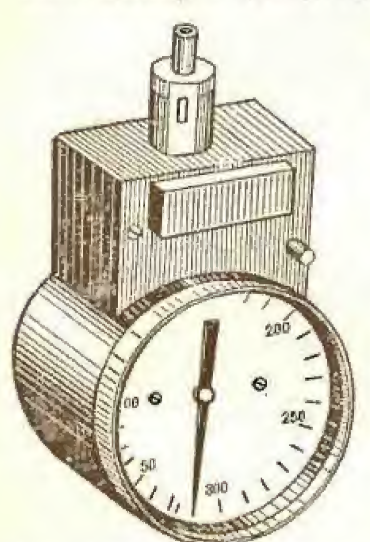


Рис. II.45. Общий вид центробежного тахометра типа ИО-30.

2) тахоскопом — прибором, объединяющим в себе счетчик оборотов и секундомер; выпускаемые отечественной промышленностью тахоскопы 94П имеют диапазон измерения 50—1000 *об/мин*;

3) вибрационным тахометром, «язычки» которого настраивают на частоты колебаний, соответствующие различным скоростям вращения машины;

4) частотомером, связанным со вспомогательными синхронными машинами, приводимыми в движение от вала испытуемого агрегата, или непосредственно с испытуемой машиной;

5) тахогенератором — небольшой электрической машиной постоянного или переменного тока — со вторичными приборами (вольтметрами, градуированными в единицах скорости вращения).

Стробоскопический способ измерения скорости вращения заключается в том, что на вращающуюся деталь предварительно наносят метку, которую затем освещают прерывистым источником света (газосветной трубкой, лампой накаливания, перед которой вращается диск с отверстиями и т. п.). Частоту перерывов освещения контролируют и регулируют в нужных пределах. Изменяя частоту, добиваются такого положения, при котором метка на вращающейся детали кажется неподвижной (стробоскопический эффект); при этом частота перерывов равна числу оборотов детали.

Этот способ особенно эффективен при испытаниях маломощных машин, когда использование других методов, создающих заметные тормозные моменты, может влиять на скорость вращения.

Промышленность выпускает строботахометр СТ-5 с пределами измерений 250—32 000 *об/мин*.

Измерение вибрации при работе электрических машин

Вибрацией называют колебания, имеющие сравнительно небольшую амплитуду и высокую частоту. Источником вибрации, как правило, являются вращающиеся машины, реже — аппараты. Величины, характеризующие вибрацию (амплитуда, частота, фаза), измеряют виброметрами и вибрографами различных типов. Мерой вибрации является двойная ее амплитуда, измеренная в сотых долях миллиметра или в микронах.

Виброметр с индикатором. Индикатор часового типа представляет собой систему связанных между собой рычагов и шестерен, усиливающих движения стержня и преобразующих их в показания прибора. Обычно перемещение измерительного стержня индикатора на 1 *мм* соответствует одному полному обороту стрелки; цена деления и, следовательно, величина перемещения стержня, которую можно надежно измерить, соответствует 0,01 *мм*.

При измерении вибрации с помощью индикатора стрелка его совершает колебательные движения между двумя отметками циферблата (шкалы), разность которых представляет собой удвоенную амплитуду колебаний (вибрации). Величина удвоенной амплитуды колебаний и нормируется действующими правилами и нормами.

Для более точного измерения вибрации индикатор помещают в инерционную массу, чаще всего — в массивное стальное или свинцовое кольцо. Именно так работают виброметры, выпускаемые Харьковским турбогенераторным заводом (ХТГЗ). Подобными виброметрами можно измерять вибрации с частотой, не превышающей 12 *гц* (это соответствует скорости вращения приблизительно 750 *об/мин*).

Виброграф ВР-1 служит для записи кривой вибрации на ленте. Пределы измеряемых удвоенных амплитуд вибрации — 0,005—6 *мм*, допустимые частоты — 5—100 *гц* (300—6000 *об/мин*). В виброграф встроен отметчик времени; интервал времени срабатывания отметчика 1 *сек*. Виброграмма обрабатывается с помощью портативного микроскопа, входящего в комплект прибора.

Виброметр электрооптический ВЭП-4 состоит из электродинамического вибродатчика типа ВД-4, зеркального гальванометра и оптической увеличительной системы. Пределы измеряемых удвоенных амплитуд — 0,002—0,5 *мм*, пределы частоты — 15—100 *гц* (900—6000 *об/мин*).

Прибор универсальный балансировочный УБП-2М предназначен для измерения амплитуды, частоты и сдвига фазы колебаний и наблюдения за формой кривой колебаний. Прибор состоит из вибродатчиков низкочастотных и среднего диапазона (4 шт.), фазодатчика, импульсной лампы стробоскопа и измерительного блока, представляющего собой специализированный электронный осциллограф. Пределы измерения прибора по удвоенной амплитуде — 0,002—2 *мм*, по частоте — 2—200 *гц*, по фазе — 0—360°.

Комплекты приборов и приборы специального назначения

Переносный измерительный комплект К-50 (табл. II.16) предназначен для измерения тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных, трехпроводных и четырехпроводных сетях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузке фаз. Применяется он с блоком ТТ И-508. Класс точности прибора 0,5. Погрешность с блоком ТТ И-508 —0,7 %. Номинальная область частот — 45—65 *гц*, расширенная — 65—500 *гц*.

Измерительный комплект К-51 имеет то же назначение, что и комплект К-50, а кроме того, им можно измерять реактивную мощность.

В комплект входят: двухэлементный ваттварметр; вольтметр Э-59; три амперметра Э-59; встроенные многопредельные ТТ с коэффициентом

Таблица II.16

Пределы измерений комплекта типа К-50

Номинальные токи, *а*	Номинальная мощность для одной фазы (предельная), *квт*, при напряжении, *в*				Примечание
	150	300	450	600	
1	0,15	0,3	0,45	0,6	—
2,5	0,375	0,75	1,125	1,5	—
5	0,75	1,5	2,25	3,0	2
10	1,5	3,0	4,5	6,0	—
25	3,75	7,5	11,25	15,0	—
50	7,5	15	22,5	30,0	
100	15	30	45	60	С блоком ТТ типа И-508
250	37,5	75	112,5	150	
500	75	150	225	300	
600	90	180	270	360	

Примечание. Мощность трехфазной цепи определяют как сумму измеренных в каждой фазе мощностей.

трансформации 1; 2,5; 5; 10; 25; 50/5*а*; добавочные сопротивления (пределы измерения напряжения ваттварметра — 125; 250; 375; 500 *в*; вольтметра — 150; 300; 450; 600 *в*); ФУ; отдельный ТТ И-520.

Пределы измерения по току с учетом ТТ И-520: 100; 250; 500 и 600 *а*. Основная погрешность при измерении активной мощности и напряжения — 0,5%, реактивной мощности и тока — 1%.

Комплекты переносных приборов постоянного тока ЧК-1, ЧК-2 и ЧК-3 предназначены для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока.

В комплект ЧК-1 входят: милливольтметр типа М45М на 75 *мв*; вольтметр на любой из пределов: 3 *в*; 3—15—150 *в*; 3—15—150—300 *в*; 15—150—450 *в*; 150—300—600 *в*; три шунта 75РИ на любые из пределов: 0,3—0,75 *а*; 1,5—7,5 *а*; 15—30 *а*; 75 *а* и 150 *а*; пара калиброванных проводников; чемодан.

Комплект ЧК-2 содержит: вольтметр М45М на пределы 75 *мв*; 3—15—150 *в*; шунты те же, что и в комплекте ЧК-1; пару калиброванных проводников; чемодан.

Комплект ЧК-3 состоит из таких элементов: двух милливольтметров М45М на 75—0—75 *мв*; вольтметра М45М на 150—300—600 *в*; двух шунтов типа 75ШСМ на 500 *а*; шунта типа 75ШСМ на 1500 *а*; двух шунтов типа 75РИ на 15—30 *а*; двух пар калиброванных проводников; чемодана.

Микроомметр М-246 (рис. II.46). Предназначен для измерения малых сопротивлений (переходных сопротивлений контактов выключателей, разъединителей, шин, паек якорных обмоток и т. п.). В приборе использован логометр, одна рамка которого подключена параллельно образцовому сопротивлению, встроенному в прибор, вторая — измеряемому сопротивлению. Угол отклонения измерительной системы из двух жестко связанных рамок логометра, определяемый равенством вращающего и противодействующего моментов, пропорционален отношению токов в рамках логометра и зависит от величины измеряемого сопротивления. Отградуированный в единицах сопротивления, прибор показывает величину измеряемого сопротивления. Микроомметр

снабжен комплектом щупов для подключения к нему измеряемого сопротивления. Подключение токовых (Т) и потенциальных (П) проводов к измеряемому сопротивлению осуществляется раздельно (см. рис. II.46) для предотвращения погрешностей, вызываемых переходными сопротивлениями контактов.

Пределы измерения микроомметра 100; 1000 *мком*; 10; 100; 1000 *мом*. Погрешность прибора 2—3,5%. Питание прибора от сети постоянного тока — 2,5 *в*, от сети переменного тока — 110, 127 и 220 *в*.

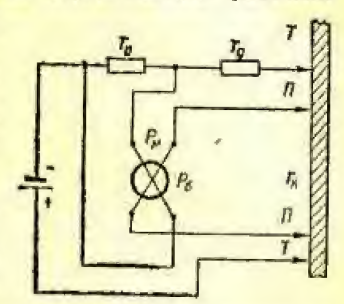


Рис. II.46. Принципиальная схема микроомметра типа М-246.

Мост малогабаритный переменного тока МД-16 предназначен для измерения тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ и емкости изоляции C_x высоковольтного оборудования.

Мостом можно измерять на высоком напряжении (ВН) объекты емкостью в пределах $0{,}3 \cdot 10^{-4}$ — 0,4 *мкф* и на низком напряжении (100 *в*) — объекты емкостью $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ — 100 *мкф*. Пределы измерения $\operatorname{tg}\delta$ — от 0,5 до 60%. Номинальное напряжение моста 10 *кв*. Емкость

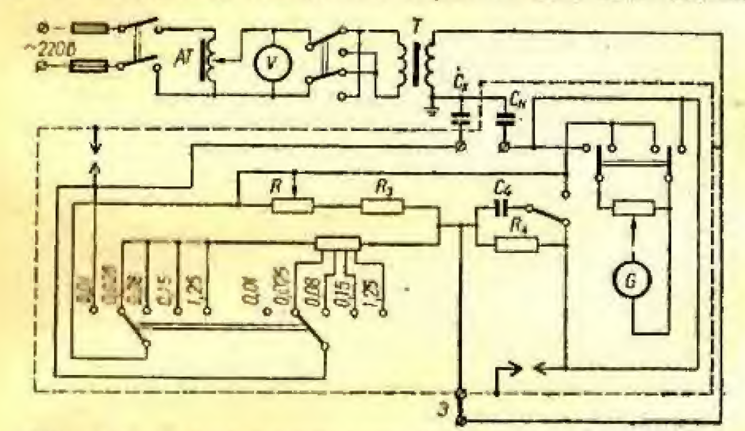


Рис. II.47. Принципиальная схема включения моста переменного тока типа МД-16.

образцового конденсатора при измерениях на ВН $C_N = 0{,}5 \cdot 10^{-4}$ *мкф*, при измерениях на низком напряжении (НН) — 0,001 и 0,01 *мкф*.

Погрешности измерения по емкости — 5%, по $\operatorname{tg}\delta$ — до 10% измеряемой величины. Возможны измерения на объектах, один из электродов которых заземлен.

Принципиальная схема включения моста МД-16 приведена на рис. II.47. Основные соотношения при равновесии моста типа МД-16:

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} = C_N \frac{3184}{R_3} \ [мкф], \qquad (II.59)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_x}{X_x} = \omega R_x C_x = \omega R_4 C_4 = 100 C_4 \ [\%], \qquad (II.60)$$

где C_N — емкость образцового конденсатора, *мкф*; $R_4 = 3184$ *ом*; R_3 — сопротивление регулируемого плеча моста, *ом*.

Прибор для контроля влажности ПКВ-13 применяют для оценки увлажненности изоляции силовых трансформаторов. Критерием увлажненности изоляции служит отношение емкости, измеренной при частоте 2 *гц*, к емкости, измеренной при частоте 50 *гц* ($C_2 : C_{50}$), которое отсчитывается непосредственно по шкале прибора ПКВ-13. Прибором можно измерять влажность на объектах с емкостью 1000—50 000 *пф*. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 15 *мом*, иначе погрешность определения отношения $\frac{C_2}{C_{50}}$ может значительно возрасти. Прибор работает по принципу заряда и разряда емкости объекта измерений. Средняя величина тока разряда при этом определяется компенсационным методом.

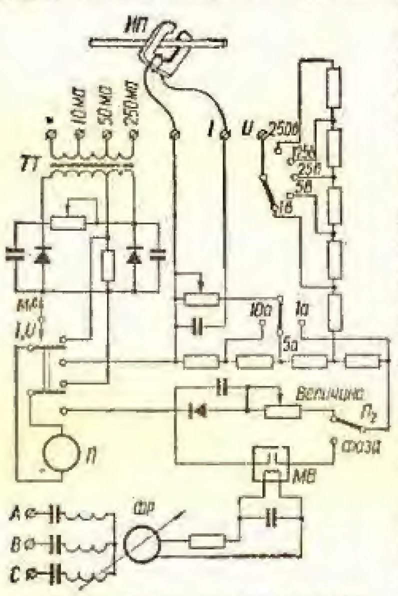


Рис. II.48. Схема вольтамперфазоиндикатора типа ВАФ-85.

Вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85 (рис. II.48) предназначен для не очень точных, но быстрых измерений напряжения, тока (без разрыва цепи), угла сдвига фаз при наладке релейной защиты. Прибором можно легко и удобно определять порядок чередования фаз, измерять ток небаланса дифференциальных защит, снимать векторные диаграммы.

Технические данные прибора ВАФ-85: пределы измерения напряжения 1; 5; 125 и 250 *в*; пределы измерения тока с помощью токосъемной клещевой приставки 1; 5 и 10 *а*; пределы измерения тока небаланса (без клещевой приставки) 10; 50 и 250 *ма*; входное сопротивление на всех пределах напряжения 2500 *ом/в*; основная погрешность по току и напряжению ±5%; по углу ±5°.

Падение напряжения и сопротивление прибора при измерении токов небаланса:

Предел, *ма*	Падение напряжения, *мв*	Сопротивление, *ом*
10	40	4,0
50	10	0,2
250	4,5	0,018

Прибор универсален, портативен, удобен, вес его невелик. Широко используется в наладочных работах.

Фазу можно измерять с помощью механического выпрямителя МВ, включенного последовательно с измерительным прибором П, и заторможенного сельсина, работающего в качестве фазорегулятора ФР. От положения ротора сельсина, связанного механически с лимбом прибора, зависит фаза напряжения, подаваемого на обмотку механического выпрямителя, а следовательно, и моменты замыкания и размыкания его контактов относительно фазы подаваемого на них тока. Таким образом, при повороте ротора сельсина изменяется средняя величина выпрямленного напряжения, а следовательно, и показания измерительного прибора. Прибор отградуирован так, что при подаче в качестве измеряемого напряжения фаз А и В ток в измерительном приборе равен нулю при совпадении нуля лимба с чертой (110 *в* или 220 *в* в зависимости от того, какое напряжение подано на зажимы А, В и С прибора). Эта особенность может быть использована для проверки исправности прибора. Для этого необходимо поставить перемычки между зажимами А и В и зажимами для подключения измеряемого напряжения; показания измерительного прибора должны быть равны нулю, а нуль лимба должен совпадать с чертой прибора.

При любом другом напряжении (или токе) значение его фазы относительно напряжения фаз А и В определится делением лимба против черты в новом его положении, при котором ток в измерительном приборе также равен нулю. Для определения угла сдвига лимб следует поворачивать так, чтобы направление движения стрелки прибора к нулю совпадало с направлением вращения лимба. Перед измерением углов сдвига фаз необходимо проверить чередование фаз, подведенных к зажимам А, В и С прибора. Для этого отпускается рычаг, тормозящий лимб, который начинает вращаться вместе с ротором сельсина. Направление вращения лимба по часовой стрелке соответствует правильному подключению фаз к зажимам прибора. В противном случае необходимо переключить провода в любых двух фазах.

При измерениях токосъемной клещевой приставкой сторона приставки, отмеченная звездочкой, должна быть обращена к генераторному концу провода с измеряемым током. Вилку приставки вставляют в гнезда прибора, соблюдая обозначенную на них полярность. Измеряя фазу напряжения, к зажиму прибора, отмеченному звездочкой, присоединяют провод, соответствующий условно принятому началу вектора напряжения. Небольшое внутреннее сопротивление прибора на малых пределах измерения тока позволяет использовать прибор для измерения токов небаланса в схемах релейной защиты.

Использование осциллографов при наладочных работах

При наладочных испытаниях электроприводов, генераторов, воздушных выключателей и другого оборудования осциллографы позволяют осуществлять визуальное наблюдение и запись переменных во времени электрических процессов или неэлектрических величин, преобразованных в электрические.

Наиболее распространены осциллографы магнитоэлектрические типа Н-102 (рис. II.49), представляющие собой модернизацию выпускавшегося осциллографа МПО2. Переносный восьмиканальный осциллограф Н-102 позволяет одновременно записывать на пленку до восьми процессов. Для визуального наблюдения электрических процессов в осциллографе имеются зеркальный барабан и экран. Ширина пленки 35 *мм*. Скорость движения пленки от 1 до 5000 *мм/сек*. Максимальная длина осциллограммы с нормальными кассетами — 10 *м*. В осциллографе предусмотрена возможность: а) записи двух нулевых линий; б) предварительной установки длины кадра в пределах от 0,1 до 5 *м*; в) автоматического включения и выключения внешней цепи во время

записи; г) дистанционного управления съемкой; д) замены одного из вибраторов (осциллографических гальванометров) отметчиком времени с частотой синусоидальных отметок 500 *гц* (питание отметчика времени осуществляется от внутренней схемы осциллографа). Осциллограф имеет счетчик, указывающий запас пленки в питающей кассете, и индикатор движения пленки. Напряжение питания 220 или 127 *в* переменного тока или 24 *в* постоянного тока. Потребляемая мощность — не более 100 *вт*.

В осциллографе используются осциллографические гальванометры (вибраторы) магнитоэлектрической системы. Осциллографический гальванометр имеет постоянный магнит, в поле которого натянута петля или закреплена рамка с зеркальцем. При прохождении тока по петле или по рамке зеркальце поворачивается на определенный угол и отклоняет падающий на него луч света от помещенного в осциллографе осветителя. Оптическая система осциллографа позволяет автоматически фокусировать отражение луча от зеркальца гальванометра на пленку или на экран для визуального наблюдения.

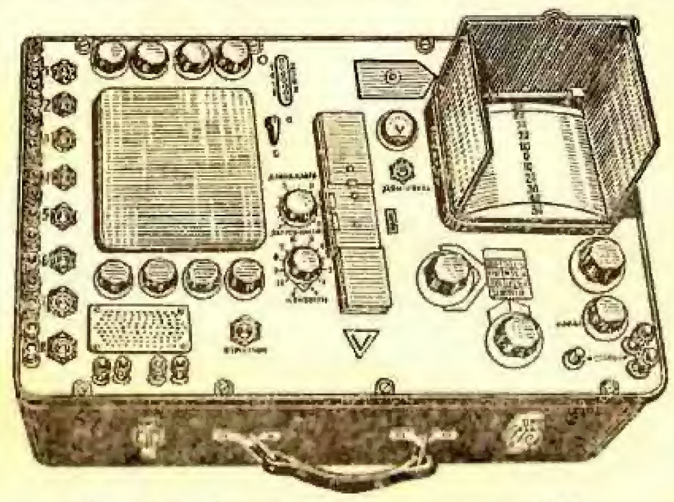


Рис. II.49. Внешний вид осциллографа Н-102.

В табл. II.17 и II.18 приведены характеристики вибраторов, применяемых в осциллографах.

Вибраторы выбирают по частоте исследуемого процесса и величине максимально допустимого тока. Собственная частота вибратора по меньшей мере должна быть в три-четыре раза больше частоты исследуемого процесса. По току вибратор выбирают так, чтобы амплитудное значение тока в цепи вибратора не превосходило максимально допустимой для данного вибратора амплитуды тока. Поскольку обычно величина осциллографируемого тока превосходит допустимую для вибратора амплитуду тока, для ограничения тока в цепи вибратора используют добавочные сопротивления и шунты. Пределы измерений тока и напряжения вибраторов можно расширить, использовав магазины добавочных сопротивлений и шунтов типа Р-155, Р-156, Р-157. В первом из них три секции шунтов и три секции добавочных сопротивлений, во втором — шесть секций шунтов и в последнем — шесть секций добавочных сопротивлений.

Таблица II.17

Технические данные гальванометров типа Н135 и МОВ2

Тип	Частота собственных колебаний, *гц*	Рабочая полоса частот, *гц*	Чувствительность, *мм/ма*	Сопротивление, *ом*	Допустимая амплитуда тока, *ма*
МОВ2-IX	400	0—200	60	55	0,4
МОВ2-X	200	0—100	250	55	0,1
Н135-0,6	1000	0—600	13	9	2
Н135-0,9	1500	0—900	5	9	5
Н135-1,5	2500	0—1500	1,5	9	16
Н135-2	4000	0—2000	0,5	4	50
Н135-3	6000	0—3000	0,25	4	100
Н135-6	12 000	0—6000	0,04	2	250

Таблица II.18

Технические данные гальванометров мощности типа Д1

Тип	Частота собственных колебаний, *гц*	Чувствительность, *мм/а²*	Сопротивление петли, *ом*	Сопротивление обмотки электромагнита, *ом*		Допустимое действующее значение тока	
				постоянному току	переменному току (50 *гц*)	в петле, *ма*	в обмотке электромагнита, *а*
Д1-XI	2200	100	7	0,07	0,15	20	5
Д1-XII	2200	1000	7	0,2	17	20	0,5

Схемы включения вибраторов с шунтами для осциллографирования токов приведены на рис. II.50.

Порядок выбора шунта покажем на примере. Требуется осциллографировать пусковой ток электродвигателя с номинальным током 100 *а* и кратностью пускового тока, равной пяти. Коэффициент трансформации ТТ 100/5. Для записи выбран вибратор Н135-0,9 с допустимым током 5 *ма* и внутренним сопротивлением 9 *ом*.

Амплитудное значение вторичного тока при пуске

$$I_{\text{п}} = 1,41 \cdot 25 = 35,25 \ a.$$

Падение напряжения на шунте в начальный момент пуска (рис. II.50, *а*) не должно превышать 5 · 9 = 45 *мв*.

Отсюда сопротивление шунта

$$R_{\text{ш}} = \frac{0,045}{35,25} = 0,00128 \ \text{ом}.$$

Шунт на 75 *мв* будет иметь сопротивление 0,00128 *ом* при токе

$$I_{\text{ш.н}} = \frac{0,075}{0,00128} = 58,5 \ a.$$

Может быть использован стандартный шунт на 75 *а*, 75 *мв*. Если есть шунт 50 *а*, 75 *мв*, то необходимо включить добавочное сопротивление (рис. II.50, *б*), величину которого можно определить следующим образом.

Падение напряжения на шунте 50 *а*, 75 *мв* при токе 35, 25 *а* составит

$$\frac{35{,}25}{50} 75 = 52{,}8 \text{ мв}.$$

При допустимом токе вибратора 5 *ма* общее сопротивление цепи вибратора должно быть не менее

$$\frac{52{,}8}{5} = 10{,}6 \text{ ом},$$

следовательно, величина добавочного сопротивления $R_д \geqslant 10{,}6 - 9$, т. е. не меньше 1,6 *ом*.

При осциллографировании кривых, амплитуда которых не может быть предварительно определена, вибратор следует зашунтировать регулируемым сопротивлением и постепенно увеличивать сопротивление, наблюдая на экране за амплитудой кривой.

Рис. II.50. Схемы включения вибраторов с шунтами:
В — вибратор; *Ш* — шунт; $R_д$ — добавочное сопротивление.

Для количественной оценки осциллограмм перед осциллографированием вибратор градуируют в полной схеме вместе с шунтами и добавочными сопротивлениями подачей напряжения или тока, фиксируемых прецизионными приборами. Градуировочные записи на пленке используются в качестве масштаба при расшифровке осциллограмм.

Нулевые линии, необходимые для анализа осциллограмм, получают с помощью свободных вибраторов.

Для оценки времени при анализе осциллограмм в осциллографе имеется отметчик времени с частотой синусоидальных отметок 500 *гц*. Кроме того, можно использовать один из вибраторов, на который подается напряжение частотой 50 *гц*. По синусоиде этого напряжения может быть определено время любого участка осциллограммы.

Скорость передвижения пленки лучше всего отрегулировать путем предварительного наблюдения за процессом на экране осциллографа. Можно также установить скорость путем подсчетов или на основании предшествующих съемок.

Область применения магнитоэлектрических осциллографов ограничена из-за инерционности вибраторов, как правило, частотами 2—3 *кгц*. При более высоких частотах, а также и при низких частотах широко используются электронные осциллографы, позволяющие наблюдать процесс на экране без записи на пленку.

Промышленность выпускает электронные осциллографы как специальные, так и общего назначения. Независимо от специфических особенностей, все они имеют основные узлы:

1. Электроннолучевую трубку для преобразования исследуемого электрического сигнала в визуальное изображение на ее экране.

2. Генератор развертки, формирующий напряжение, необходимое для временной развертки луча.

3. Усилитель вертикального отклонения, повышающий чувствительность осциллографа.

4. Цепи синхронизации для получения устойчивого неподвижного изображения исследуемого сигнала на экране электроннолучевой трубки.

Широко распространены осциллографы типов ЭО-7 и CI-4 (ЭНО-1).

Из выпускаемых промышленностью осциллографов в условиях наладочных работ могут быть использованы малогабаритные переносные однолучевые осциллографы типов CI-22, CI-20, а из двухлучевых — CI-34. В табл. II.19 приведены основные технические данные этих осциллографов.

Таблица II.19

Технические данные электронных осциллографов

Тип	Полоса пропускания	Чувствительность, *мв/см*	Входной импеданс	Наибольшая частота синхронизации, *мгц*	Погрешность измерения, %		Развертка ждущая
					амплитуды	временного интервала	
CI-22	0 — 5 *мгц*	170	1 *мом*, 50 *пф*	5	10	10	1 · 10⁻⁷ ÷ 2×10⁻¹ *сек/дел.*
CI-20	10 *гц* — 20 *мгц* 15 *гц* — 2 *мгц*	100 10	0,5 *мгом*, 40 *пф*	5	5	5	1 · 10⁻⁷ ÷ 2×10⁻⁶ *сек/см*
CI-34	0 — 5 *мгц*	170	1 *мгом*, 50 *пф*	5	10	10	17·10⁻⁸ ÷ 33×10⁻³ *сек/см*

Примечание. Взамен осциллографа CI-22, снимаемого с производства, намечается выпуск осциллографа CI-49.

На экране однолучевого осциллографа можно одновременно наблюдать два независимых процесса. Для этого применяют электронные коммутаторы (переключатели), подключающие осциллограф поочередно к обоим исследуемым напряжениям, благодаря чему на экране видны две пунктирные линии.

Глава III

ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Виды испытаний электрооборудования

Цель испытаний электрооборудования — проверка соответствия требуемым техническим характеристикам, установление отсутствия дефектов, получение исходных данных для последующих профилактических испытаний, а также изучение работы оборудования.

Различают следующие виды испытаний: 1) типовые; 2) контрольные; 3) приемо-сдаточные; 4) эксплуатационные; 5) специальные.

Типовые испытания нового оборудования, отличающегося от существующего конструкцией, материалами или технологическим процессом, принятым при его изготовлении, выполняются заводом-изготовителем с целью проверки соответствия всем требованиям, предъявляемым к оборудованию данного типа стандартами или техническими условиями.

Контрольным испытаниям подвергается каждое изделие (машина, аппарат, прибор и т. д.) при выпуске с завода-изготовителя для проверки соответствия выпускаемого изделия основным техническим требованиям. Контрольные испытания выполняются по сокращенной (по сравнению с типовыми испытаниями) программе.

Приемо-сдаточным испытаниям подвергается по окончании монтажа все вновь вводимое в эксплуатацию оборудование для оценки пригодности его к эксплуатации.

Оборудование, находящееся в эксплуатации, в том числе вышедшее из ремонта, подвергается эксплуатационным испытаниям, целью которых является проверка исправности его. Эксплуатационными являются испытания при капитальных и текущих ремонтах и профилактические испытания, не связанные с выводом оборудования в ремонт.

Специальные испытания проводятся для исследовательских и других целей по специальным программам.

Программы (а также нормы и методы) типовых и контрольных испытаний установлены ГОСТами на соответствующее оборудование.

Объем и нормы приемо-сдаточных испытаний определены «Правилами устройства электроустановок».

Эксплуатационные испытания проводятся в соответствии с «Объемами и нормами испытаний электрооборудования» (1964 г.) и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей».

При приемо-сдаточных и эксплуатационных испытаниях необходимо дополнительно учитывать требования заводских и ведомственных инструкций.

Определенная часть испытательных работ является общей при наладке различных элементов электроустановок. К таким работам относятся проверка схем электрических соединений, проверка и испытание изоляции и др. В этой главе рассмотрены только общие вопросы проведения этих испытаний; специфические особенности наладки отдельных видов оборудования освещены в других главах.

Проверка схем электрических соединений

Проверка схем электрических соединений предусматривает следующее.

1. Ознакомление с проектными схемами коммутации как принципиальными (элементными), так и монтажными, а также кабельным журналом.

2. Проверка соответствия установленного оборудования и аппаратуры проекту.

3. Осмотр и проверка соответствия смонтированных проводов и кабелей (их марки, материала, сечения и др.) проекту и действующим правилам.

4. Проверка наличия и правильности маркировки на оконцевателях проводов и жил кабелей, клеммниках, выводах аппаратов.

5. Проверка качества монтажа (надежности контактных соединений, укладки проводов на панелях, прокладки кабелей и т. п.).

6. Проверка правильности монтажа цепей (прозвонка).

7. Проверка схем электрических цепей под напряжением.

Цепи первичной и вторичной коммутаций проверяют в полном объеме при приемо-сдаточных испытаниях после окончания монтажа электроустановки. При профилактических испытаниях объем проверки коммутации значительно сокращается. Обнаруженные в процессе проверки ошибки монтажа или другие отступления от проекта устраняют наладчики или монтажники (в зависимости от объема и характера работы).

Принципиальные изменения и отступления от проекта допустимы только после согласования их с проектной организацией. Все изменения должны быть показаны на чертежах.

Проверка правильности монтажа (прозвонка)

Правильность монтажа, выполненного свободно и наглядно в пределах одной панели, шкафа, аппарата, может быть проверена визуально прослеживанием проводов. Во всех остальных случаях правильность монтажа цепей определяют прозвонкой.

В пределах одной панели, шкафа прозвонка цепей может осуществляться с помощью простейшего прозвоночного устройства (рис. III.1). Устройства такого типа легко изготовить на месте проведения наладочных работ. В прозвоночных устройствах с лампочкой заметно искрение при размыкании цепи, содержащей катушку с железным сердечником; по искрению и судят об исправности катушки (отсутствие обрывов и витковых замыканий).

Более совершенное прозвоночное устройство содержит миниатюрный магнитоэлектрический вольтметр. Если вольтметр градуирован в омах, устройство становится по существу омметром, аналогичным прибору типа М-57 (см. гл. II).

При прозвонке цепей на панели или коротких отрезков кабелей, не выходящих за пределы одного помещения, можно пользоваться также понижающим трансформатором (220/12 *в*) с лампой или мегомметром.

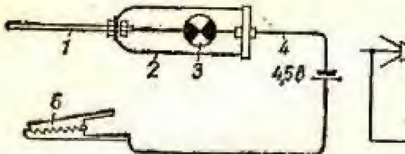


Рис. III.1. Простейшее прозвоночное устройство:

1 — щуп из медной проволоки диаметром 2,5—4 *мм*, длиной 50—60 *мм*; *2* — пластмассовый просвечивающийся футляр; *3* — лампочка напряжением 2—6 *в*; *4* — соединительные провода; *5* — зажим типа «крокодил».

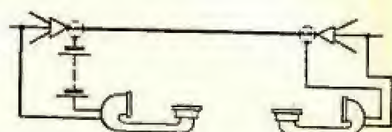


Рис. III.2. Схема прозвонки кабеля с помощью микротелефонных трубок.

Длинные отрезки кабеля, концы которых расположены в разных помещениях, лучше всего прозванивать с помощью двух микротелефонных трубок. Телефоны и микрофоны обеих трубок соединяют в последовательную цепочку с источником постоянного напряжения 3—6 *в* (сухие элементы или аккумуляторы) через прозваниваемую и вспомогательную жилы кабеля. В качестве обратного провода могут быть использованы металлическая оболочка кабеля либо заземленные конструкции.

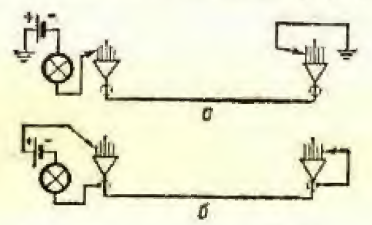




Рис. III.3. Схема прозвонки длинного кабеля пробником:

а — при поочередном заземлении жил на удаленном конце; *б* — при использовании металлической оболочки кабеля в качестве обратного провода; *в* — при использовании одной из жил в качестве обратного провода.

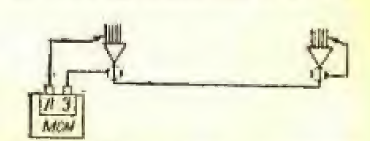


Рис. III.4. Схема прозвонки длинного кабеля мегомметром.

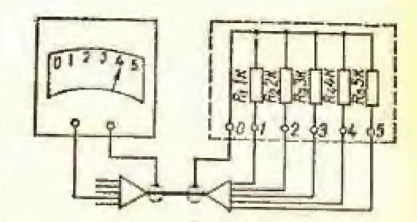


Рис. III.5. Схема прозвонки длинного кабеля жилоискателем.

Порядок прозвонки по схеме, приведенной на рис. III.2 (с использованием оболочки кабеля в качестве обратного провода), таков.

1. С обеих сторон отсоединяют все жилы проверяемого кабеля.

2. Проверяют изоляцию всех жил кабеля между собой и относительно земли.

3. Два наладчика, находясь на разных концах кабеля, присоединяют трубки к оболочке и находят условную первую жилу. По предварительной договоренности один из наладчиков («ведущий») присоединяет трубку к жиле, а второй («помощник») поочередно касается проводом трубки всех жил.

4. В момент прикосновения провода трубки к разыскиваемой жиле в обоих телефонах слышен характерный шорох, свидетельствующий об образовании замкнутой цепи и о возможности ведения переговоров.

5. «Ведущий» сообщает «помощнику», какая маркировка должна быть на найденной жиле; при несоответствии маркировки в нее вносят коррективы.

6. Аналогично находят следующую жилу и устанавливают телефонную связь.

7. Ранее найденную жилу на обоих концах кабеля присоединяют к клеммникам.

8. Аналогично прозванивают все остальные жилы кабеля.

Если количество прозваниваемых жил невелико, нет микротелефонных трубок или прозвонку проводит один человек, то можно воспользоваться схемами, приведенными на рис. III.3—III.5.

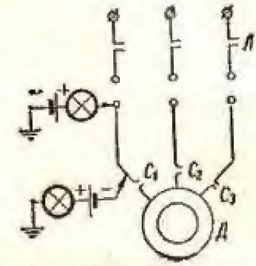


Рис. III.6. Схема прозвонки двумя пробниками.

Жилоискатель (рис. III.5) состоит из набора сопротивлений (1—5 *ком* и т. д.) и омметра, включаемых на разные концы кабеля. По значению измеренного на каждой жиле сопротивления проверяют ее маркировку.

Иногда прозвонку осуществляют два наладчика с помощью двух пробников (рис. III.6). В этом случае наличие лампочек на обоих концах кабеля позволяет пользоваться условным кодом и освобождает наладчиков от хождения для переговоров друг с другом. Однако перед прозвонкой необходимо проверять полярность пробников, так как при встречном их включении лампы гореть не будут.

Определение места повреждения контрольного кабеля

У длинных контрольных кабелей поврежденный участок целесообразно ремонтировать, а не заменять весь кабель. Методы определения места повреждения в кабельных сетях высокого напряжения (см. гл. XIV) в этом случае не всегда можно использовать.

В связи с этим место повреждения кабеля рекомендуется определять упрощенным методом. Ниже приведен порядок проведения испытаний.

1. В поврежденном кабеле *1* выбирают жилу с наихудшей изоляцией и собирают схему согласно рис. III.7. Обратным проводом служит любой исправный кабель *2*, проложенный в том же месте, что и поврежденный. В нем выделяют одну контрольную жилу, подводимую к гальванометру *G*, а все остальные жилы включают параллельно для уменьшения сопротивления. Второй конец контрольной жилы присоединяют к поврежденному кабелю.

2. Проверяют гальванометром наличие напряжения на поврежденной и контрольной жилах. Часто в кабелях имеются посторонние, наведенные э. д. с., для компенсации которых стрелку включенного

гальванометра устанавливают на нуль. Если не удается установить стрелку на нуль, то при последующих измерениях отсчет по гальванометру ведут не от нуля, а от того деления шкалы, на котором останавливалась стрелка при измерении постороннего напряжения на жилах.

3. Включают рубильник; для получения максимального отклонения стрелки гальванометра реостатом R подбирают ток от батареи питания и вновь измеряют напряжение на поврежденной и контрольной жилах относительно земли (свинцовой оболочки испытуемого кабеля).

4. Определяют место повреждения кабеля по уравнению

$$l = \frac{U_п}{U_п + U_к} L, \quad \text{(III.1)}$$

где L — полная длина поврежденного кабеля; l — расстояние от места измерения до места повреждения по длине кабеля; $U_к$, $U_п$ — показания гальванометра соответственно на контрольной и поврежденной жилах.

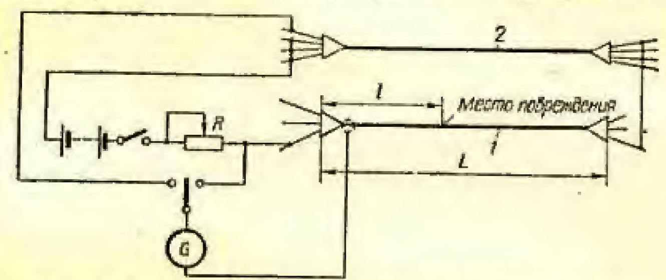


Рис. III.7. Схема определения места повреждения контрольного кабеля.

Точность метода ± 2 *м* при полной длине кабеля 100—200 *м*. Гальванометр желательно иметь с чувствительностью примерно 0,5 *ма* на 1°. При сопротивлении изоляции поврежденного кабеля 0,5 *Мом* и меньше достаточно аккумуляторной батареи на 6—12 *в*. Менее чувствительные гальванометры и более высокое сопротивление изоляции кабелей требуют повышенного напряжения батареи.

Проверка схем вторичной коммутации под напряжением

Рассмотрим проверку под напряжением схем оперативных цепей (управления, защиты, автоматики, сигнализации, блокировки).

Методы проверки токовых цепей, цепей напряжения, цепей возбуждения приводятся в дальнейших главах.

Проверка схемы под напряжением проводится при отключенной силовой цепи после проверки правильности монтажа электрических цепей, настройки аппаратуры и испытания изоляции цепей. Предварительно должны быть также проверены все контактные соединения на клеммниках и аппаратах (отверткой), а также полярность подаваемого напряжения.

При первой подаче оперативного напряжения следует убедиться, что в схеме нет короткого замыкания. Для этого устанавливается только один предохранитель, а вместо второго предохранителя включается

контрольная лампа. При отсутствии короткого замыкания лампа не горит или горит неполным накалом. Эта лампа должна иметь возможно меньшее внутреннее сопротивление (мощность лампы порядка 150—200 *вт*). При подаче напряжения через лампу с большим внутренним сопротивлением на катушку реле с относительно небольшим сопротивлением накал лампы будет мало отличаться от полного.

После подачи оперативного напряжения проверяется четкость срабатывания, последовательность работы отдельных контакторов, реле и других элементов и всей схемы в целом во всех режимах работы, предусмотренных схемой. Работа схем защиты, сигнализации, автоматики

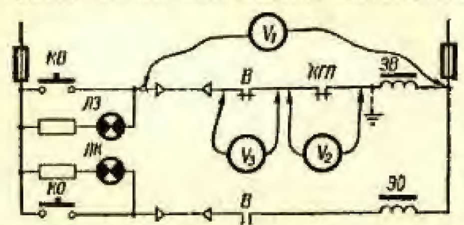


Рис. III.8. Определение неисправности в схеме с помощью вольтметра.

проверяется имитацией аварийных и ненормальных режимов работы оборудования путем замыкания от руки контактов реле защиты, технологических датчиков и т. п.

При проверке схемы под напряжением возможны случаи отказа в работе отдельных элементов и узлов схемы. Хотя повреждения и нарушения в схемах чрезвычайно многообразны, они могут быть отнесены к следующим основным видам: а) обрыв цепи, б) короткое замыкание, в) замыкание на землю, г) наличие обходной цепи, д) несоответствие требованиям схемы параметров или неисправность отдельных аппаратов, входящих в схему.

Все эти дефекты обнаруживаются далеко не сразу и могут иметь самые различные внешние проявления в зависимости от особенностей схемы. Только тщательный анализ схемы, продуманные проверки и опробования дают возможность быстро и эффективно выявить и устранить неисправность. Поскольку каждая неисправность в схеме требует специального анализа, методика определения неисправного элемента не может быть изложена в виде общего руководства, пригодного для всех возможных случаев.

На рис. III.8 приведена принципиальная схема управления масляным выключателем с пружинным приводом.

В качестве примера рассмотрим простейший случай неисправности — нарушение цепи на блок-контактах выключателя *В*. Внешний признак повреждения — не горит лампа *ЛЗ*.

Для выявления неисправного элемента следует: а) проверить вольтметром целость предохранителей; б) проверить вольтметром напряжение на лампе *ЛЗ* (если на лампе с добавочным сопротивлением напряжения нет, то можно предположить обрыв в цепи включения); в) проверить целость нити сигнальной лампы (см. рис. III.8, V_1); значительное отклонение стрелки вольтметра свидетельствует об обрыве цепи в приводе или в кабеле; г) проверить наличие цепи на контактах *В* и *КГП* поочередным подключением вольтметра параллельно контактам *В* и *КГП*. При подключении вольтметра параллельно контактам *КГП*

(см. рис. III.8, V_3) показания вольтметра равны нулю, и, следовательно, контакты *КГП* замкнуты. Показания вольтметра, подключенного параллельно контактам *В*, свидетельствуют о разрыве цепи на этих контактах, что является причиной неисправности в схеме.

При работе в оперативных цепях следует, как правило, пользоваться высокоомным вольтметром, так как использование низкоомных приборов может привести к ложному срабатыванию аппаратов схемы. Так, в рассматриваемой схеме (при исправности цепи включения) подключение вместо вольтметра контрольной лампы параллельно сигнальной лампе *ЛЗ* с добавочным сопротивлением может вызвать срабатывание катушки включения *ЭВ*, которая оказывается включенной последовательно с контрольной лампой, и, следовательно, самопроизвольное включение выключателя. Лампы накаливания можно применять только при проверке целости предохранителей и определении короткого замыкания в схеме. В таких случаях, например при замыкании на землю (на рис. III.8 — пунктир), нажатие кнопки включения приводит к перегоранию предохранителей, так что определение повреждения описанным выше способом с помощью вольтметра не представляется возможным (показания вольтметра, включенного параллельно кнопке включения, практически не будут отличаться от его показаний при отсутствии замыкания на землю, так как сопротивление последовательно включенной катушки включения незначительно по сравнению с внутренним сопротивлением вольтметра). Для определения повреждения в схеме необходимо параллельно кнопке включения включить лампу накаливания, которая будет гореть в этом случае полным накалом.

Определение полярности обмоток

При наладке электрических машин, силовых и измерительных трансформаторов и другого оборудования часто возникает необходимость в проверке полярности обмоток и правильности маркировки их выводов.

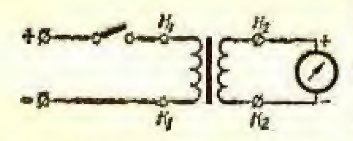


Рис. III.9. Схема проверки полярности выводов обмоток.

Полярность выводов обмоток (при заданном направлении магнитного потока) обусловливается направлением намотки витков обмоток, их взаимным расположением на магнитопроводе.

Если через одну из нескольких магнитосвязанных обмоток пропускать постоянный ток, то в каждой из обмоток индуктируется э. д. с. Направление этих э. д. с. на остальных обмотках может быть измерено магнитоэлектрическим прибором. Однополярными будут выводы обмоток, имеющие одинаковый знак э. д. с. (при поочередном подключении одного и того же зажима прибора к однополярным выводам обмоток стрелка прибора отклонится в одном направлении). Если произвольно промаркировать выводы одной из обмоток и подключить к одному из этих выводов «+» источника тока, а на вторую обмотку подключить гальванометр таким образом, чтобы стрелка его отклонялась вправо при замыкании цепи источника тока (влево при размыкании цепи), то выводы обмоток, подключенные к «+» источника тока и «+» гальванометра, будут однополярными, так как знаки индуктируемых э. д. с. на этих выводах одинаковые (в обмотке, подключенной к источнику напряжения, индуктируемая э. д. с. направлена встречно э. д. с. источника тока).

Описанный принцип (рис. III.9) широко используется в практике наладочных работ для определения полярности обмоток и проверки правильности маркировки выводов.

В качестве измерительных приборов используются невысокой чувствительности гальванометры, милливольтметры, а также индикаторы полярности типа М227, имеющие встроенную батарею напряжением 3,7—4,1 *в*.

Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции постоянному току является основным показателем состояния изоляции, и измерение сопротивления изоляции является неотъемлемой частью пусконаладочных испытаний всех видов электрооборудования и электрических цепей.

Нормы проверок и испытаний, определяемые ГОСТами, ПУЭ и другими директивными материалами, приведены в последующих главах.

Сопротивление изоляции практически во всех случаях измеряется мегомметром — прибором, состоящим из источника напряжения — генератора постоянного тока чаще всего с ручным приводом, магнитоэлектрического логометра и добавочных сопротивлений. Наиболее распространены мегомметры типа М-1101м (рис. III.10) и МС-05.

Рис. III.10. Принципиальная схема мегомметра типа М-1101.

Поскольку в мегомметрах есть источник постоянного тока, то сопротивление изоляции можно измерять при значительном напряжении (до 2500 *в* в мегомметре типа МС-0,5), а для некоторых электроаппаратов — одновременно испытывать изоляцию повышенным напряжением.

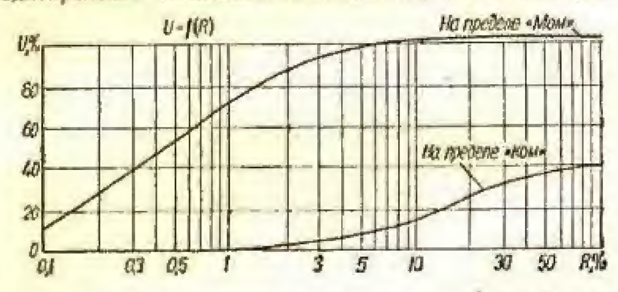


Рис. III.11. Нагрузочные характеристики мегомметра типа М-1101.

Однако следует иметь в виду, что при подключении мегомметра к аппарату с пониженным сопротивлением изоляции напряжение на выводах мегомметра также понижается. На рис. III.11 и III.12 приведены нагрузочные характеристики мегомметров М-1101 и МС-05. Напряжение

на их выводах дано в процентах напряжения холостого хода, а сопротивление R для мегомметра М-1101 — в процентах максимального измеряемого сопротивления по шкале.

Мегомметр М-1101м выпускается трех модификаций (табл. III.1). Основная погрешность в рабочей части шкалы составляет ±1% ее длины.

Таблица III.1

Технические данные мегомметра типа М-1101м

Номинальное напряжение мегомметра, *в*	Максимальное значение измеряемого сопротивления, *Мом*	Пределы измерения рабочей части шкалы	
		ком	*Мом*
100	100	0—200	0,01—20
500	500	0—1000	0,05—100
1000	1000	0—1000	0,2 —200

Мегомметр МС-05. Пределы измерения мегомметра: от 0—10 000 *Мом* до ∞ с рабочей частью шкалы 1—1000 *Мом*; от 0—1000 *Мом* до ∞ с рабочей частью шкалы 0,1—100 *Мом*; от 0—100 *Мом* до ∞ с рабочей частью шкалы 0,01—10 *Мом*.

Напряжение на выходе прибора 2500 *в*.

Нормальная скорость вращения рукоятки мегомметра 120 *об/мин*. Напряжение на зажимах мегомметра при разомкнутой внешней цепи при любой скорости вращения рукоятки, превышающей 120 *об/мин*, отличается от номинального не больше, чем на ± 20%. Основная погрешность мегомметра в рабочей части шкалы не превышает 1,5% длины шкалы по дуге.

Для измерения сопротивления изоляции могут быть использованы также мегомметры электронной системы типа Ф2 с пределами измерений 0—20; 10—200; 100—2000; 1000—20 000 *Мом*.

Перед началом измерений необходимо убедиться, что на испытуемом объекте нет напряжения, тщательно очистить изоляцию от пыли и грязи и на 2—3 *мин* заземлить объект для снятия с него возможных остаточных зарядов.

Рис. III.12. Нагрузочные характеристики мегомметра типа МС-05.

Измерения следует производить при устойчивом положении стрелки прибора; для этого нужно быстро, но равномерно вращать ручку генератора. Сопротивление изоляции определяется показанием стрелки прибора мегомметра. После окончания измерений испытуемый объект необходимо разрядить.

Для присоединения мегомметра к испытуемому аппарату или линии следует применять раздельные провода с большим сопротивлением изоляции (обычно не меньше 100 *Мом*).

Перед пользованием мегомметр, как правило, следует подвергнуть контрольной проверке, которая заключается в том, что проверяют показания по шкале при разомкнутых и короткозамкнутых проводах.

В первом случае стрелка должна находиться у отметки шкалы «бесконечность», во втором — у нуля.

Для того чтобы на показания мегомметра не оказывали влияния токи утечки по поверхности изоляции, особенно при проведении измерений в сырую погоду, мегомметр подключают к измеряемому объекту с использованием зажима *Э* (экран) мегомметра (рис. III.13, *б* и *в*). При такой схеме измерений токи утечки по поверхности изоляции отводятся в землю, минуя обмотку логометра.

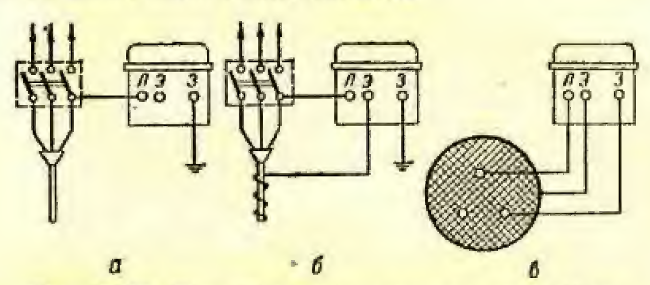


Рис. III.13. Схемы включения мегомметра типа МС-05.

На рис. III.13, *б* вывод *Э* подключен к токоотводящему электроду размещенному на изолированной оболочке кабеля возле воронки, а на рис. III.13, *в* — к заземленной оболочке кабеля.

Схема включения мегомметра без экрана приведена на рис. III.13, *а*.

Величина сопротивления изоляции в большой степени зависит от температуры. Сопротивление изоляции следует измерять при температуре изоляции не ниже +5°, кроме случаев, оговоренных специальными инструкциями. При более низких температурах результаты измерения из-за нестабильного состояния влаги не отражают истинной характеристики изоляции.

В некоторых установках постоянного тока (аккумуляторных батареях, генераторах постоянного тока и т. п.) можно контролировать изоляцию с помощью вольтметра с большим внутренним сопротивлением (30 000—50 000 *ом*). При этом измеряют три напряжения — между полюсами (U) и между каждым из полюсов и землей (U_1 и U_2).

Сопротивление изоляции установки можно определить из выражения

$$R_{из} = \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1\right) R_в \cdot 10^{-6}\ [Мом], \qquad (III.2)$$

где $R_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра, *ом*.

Определение увлажненности изоляции

Как правило, увлажненность изоляции определяют для решения вопроса о необходимости сушки гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов.

Методы определения степени увлажненности изоляции основываются на физических процессах, происходящих в изоляции при приложении к ней напряжения. Как известно, емкость изоляции может быть представлена геометрической емкостью, определяемой геометрическими размерами изоляции, и емкостью абсорбционной, т. е. емкостью,

образуемой в толще изоляции неоднородностями изоляционного материала, а также различными включениями в виде воздушных промежутков, влаги, загрязнений и др.

При приложении напряжения через изоляцию в первый момент проходит ток заряда геометрической емкости, быстро прекращающийся в связи с процессом зарядки этой емкости. Абсорбционная емкость, в отличие от геометрической, проявляется не сразу после приложения к изоляции напряжения, а спустя некоторое время после заряда геометрической емкости, в результате последующего перераспределения зарядов в толще изоляции и накопления их на границах отдельных слоев, образующих из-за неоднородностей как бы цепочку последовательно включенных емкостей. Следствием заряда соответствующих отдельных емкостей (поляризации) является ток абсорбции в изоляции.

После прекращения поляризации, т. е. заряда абсорбционной емкости, ток абсорбции становится равным нулю, но через изоляцию продолжает проходить ток сквозной проводимости (ток утечки), величина которого определяется сопротивлением изоляции постоянному току.

Ниже приводятся методы определения увлажненности изоляции, которые используют в испытательной практике.

Определение влажности по коэффициенту абсорбции основано на сравнении показаний мегомметра, снятых через разные промежутки времени после приложения напряжения. Коэффициент абсорбции

$$K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \qquad (III.3)$$

где R_{60} и R_{15} — сопротивление изоляции, измеренное соответственно через 60 и 15 *сек* после приложения напряжения мегомметра.

Для неувлажненной обмотки при температуре 10—30° С $K_{аб} = 1,3 - 2,0$, для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице.

Объясняется это различной длительностью заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции.

Величина коэффициента абсорбции сильно зависит от температуры изоляции, поэтому для сравнения следует пользоваться величинами, измеренными или приведенными к одной температуре. Коэффициент абсорбции измеряется при температуре не ниже +10° С.

Определение влажности по емкости и частоте применяется главным образом при испытании силовых трансформаторов. Оно основано на том, что емкость неувлажненной изоляции при изменении частоты изменяется меньше (или совсем не изменяется), чем емкость увлажненной изоляции. Емкость изоляции принято измерять при двух частотах: 2 и 50 *гц*.

При измерении емкости изоляции на частоте 50 *гц* успевает проявиться только геометрическая емкость, одинаковая у сухой и влажной изоляции. При измерении емкости изоляции на частоте 2 *гц* успевает проявиться абсорбционная емкость влажной изоляции, в то время как у сухой изоляции она меньше и заряжается медленно. Температура при измерениях должна быть не ниже 10° С. Отношение емкости, измеренной при частоте 2 *гц* (C_2), к емкости при 50 *гц* (C_{50}) для увлажненной изоляции близко 2, а для неувлажненной — близко 1. Эти измерения осуществляют прибором типа ПКВ-13 (прибор контроля влажности), технические данные которого приведены в гл. II.

Определение влажности изоляции силовых трансформаторов по емкости и температуре. О степени увлажненности изоляции можно судить по изменению ее емкости, измеряемой при различных температурах.

За верхний предел температуры принимают 70° С и выше, за нижний — на 50° С меньше. Критерий неувлажненности

$$\frac{C_г}{C_x} \leqslant 1,05 \div 1,1, \qquad (III.4)$$

где $C_г$ и C_x — емкость соответственно при 70 и 20° С.

По данным Московского трансформаторного завода, изоляцию можно считать неувлажненной, если

$$\frac{C_{70} - C_{20}}{C_{20}} \leqslant 0,2. \qquad (III.5)$$

Емкость обмоток можно измерить либо с помощью моста типа МД-16 одновременно с измерением tg δ, либо вольтметром-амперметром.

Температуру обмоток трансформаторов измеряют термометром, установленным в верхних слоях масла, или устанавливают по сопротивлению меди обмотки.

Определение увлажненности изоляции силовых трансформаторов по приросту емкости за 1 сек. Заряжая емкость изоляции и затем разряжая ее, измеряют емкость объекта C и прирост емкости ΔC в течение 1 *сек* за счет абсорбционной емкости, которая успевает проявиться за 1 *сек* у влажной изоляции и не успевает — у сухой. Отношение $\frac{\Delta C}{C}$ характеризует степень увлажненности изоляции обмоток трансформатора. Величины отношений $\frac{\Delta C}{C}$ для неувлажненной изоляции приведены в гл. IX.

Величина отношения $\frac{\Delta C}{C}$ зависит от температуры изоляции и должна измеряться при температуре не ниже +10° С. Отношение $\frac{\Delta C}{C}$ измеряют прибором типа ЕВ-3.

Определение влажности изоляции электрических машин по коэффициенту нелинейности. Известно, что у машин, имеющих увлажненную изоляцию, зависимость токов утечки от приложенного выпрямленного напряжения нелинейна. Нелинейность вызвана резким увеличением токов утечки в связи с ионизацией во влажной изоляции.

Критерием увлажненности изоляции может быть отношение сопротивлений изоляции, измеренных при напряжениях, равных 0,5 и 2 номинального ($R_{0,5U_{ном}}$ и $R_{2U_{ном}}$). В обоих случаях сопротивление изоляции вычисляется как отношение выпрямленного напряжения, приложенного к изоляции, к одноминутному значению тока утечки при данном напряжении:

$$R_{0,5U_{ном}} = \frac{0,5U_{ном}}{I_{1мин}}; \quad R_{2U_{ном}} = \frac{2U_{ном}}{I_{1мин}}. \qquad (III.6)$$

Для практически неувлажненной изоляции коэффициент нелинейности

$$K_{нл} = \frac{R_{0,5U_{ном}}}{R_{2U_{ном}}} \leqslant 3,0. \qquad (III.7)$$

При измерении этим способом во многих случаях можно пользоваться кенотронным аппаратом.

Измерение диэлектрических потерь

Диэлектрические потери или пропорциональный им тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ — одна из основных характеристик состояния электрической изоляции.

По величине потерь можно судить о надежности изоляции по отношению к тепловому пробою (тепловой устойчивости), общем старении и увлажненности изоляции.

Рис. III.14. Векторная диаграмма токов и напряжений в диэлектрике.

Для токов и мощности потерь в диэлектрике действительны такие соотношения (рис. III.14).

Отношение активной составляющей тока I_A к емкостной I_C

$$\frac{I_A}{I_C} = \operatorname{tg}\delta. \qquad \text{(III.8)}$$

Емкостный ток

$$I_C = \omega C U, \qquad \text{(III.9)}$$

где ω — угловая частота; C — емкость диэлектрика; U — приложенное к диэлектрику напряжение, *в*.

Потери в диэлектрике

$$P = UI_A = UI\cos\varphi = UI_C \operatorname{tg}\delta \qquad \text{(III.10)}$$

или, согласно формуле (III.9),

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg}\delta. \qquad \text{(III.11)}$$

Таким образом, потери мощности P и тангенс угла диэлектрических потерь пропорциональны друг другу.

Активная составляющая тока не может являться показателем состояния изоляции, так как ее величина зависит от размеров изоляции, в то время как величина отношения $\frac{I_A}{I_C}$ от размеров изоляции не зависит и изменяется с изменением активной составляющей тока по отношению к емкостной, т. е. с изменением состояния изоляции.

Измерение $\operatorname{tg}\delta$ широко используется для оценки состояния изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения.

Величина $\operatorname{tg}\delta$ зависит от температуры и величины прикладываемого к изоляции напряжения. Не следует измерять $\operatorname{tg}\delta$ при температуре ниже $+10°$ С.

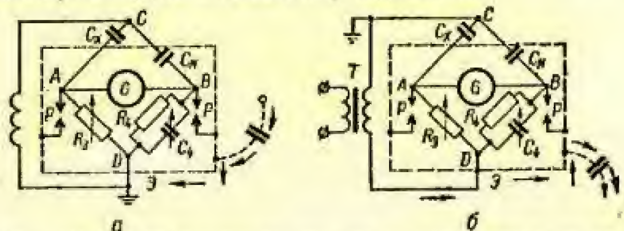
При наладке для измерения $\operatorname{tg}\delta$ широко применяют мост типа МД-16 (см. гл. II). Этим мостом можно измерить диэлектрические потери по нормальной схеме (рис. III.15, *а*), применяемой для объектов, у которых оба электрода изолированы от земли (при измерении $\operatorname{tg}\delta$ между обмотками трансформаторов или между фланцем и электродом высоковольтных вводов в ремонтной мастерской, когда фланец изолятора может быть установлен на изолирующую подставку). Для измерения диэлектрических потерь объектов, имеющих один наглухо заземленный электрод, применяют «перевернутую» схему моста (рис. III.15, *б*).

Величину $\operatorname{tg}\delta$ изоляции измеряют при напряжении не выше 10 *кв* у электрооборудования с номинальным напряжением 10 *кв* и выше и при напряжении, равном номинальному у остального электрооборудования.

В качестве испытательного трансформатора при измерениях $\operatorname{tg}\delta$, как правило, используется трансформатор напряжения типа НОМ-10.

При измерении $\operatorname{tg}\delta$ в измерительном элементе моста возможны

токи влияния, обусловленные внешними магнитными и электростатическими полями. Эти влияния несколько уменьшаются экранированием измерительной схемы. Погрешности, создаваемые токами влияния, можно учесть, выполнив измерения четыре раза при разных полярностях гальванометра и подаваемого на схему напряжения.



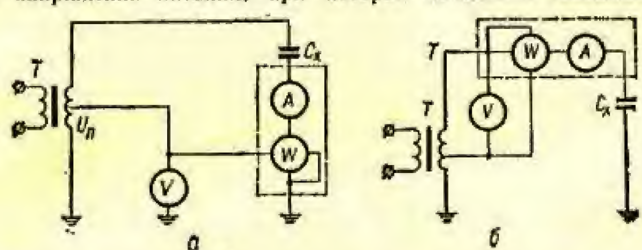
а *б*

Рис. III.15. Принципиальные схемы включения моста типа МД-16:

а — нормальная; *б* — перевернутая; *T* — испытательный трансформатор; C_x — испытуемый объект; C_N — образцовый конденсатор; *G* — вибрационный гальванометр; R_3 — переменное сопротивление; R_4 — постоянное сопротивление; C_4 — магазин емкостей.

При измерении $\operatorname{tg}\delta$ аппаратов, расположенных вблизи установок под напряжением 110 *кв* и выше, мост иногда не удается уравновесить. Тогда измерение осуществляют при положении переключателя, соответствующем отрицательному $\operatorname{tg}\delta$.

Внешние влияния могут быть уменьшены также подбором фазы напряжения питания, при которой показания гальванометра



а *б*

Рис. III.16. Схемы определения $\operatorname{tg}\delta$ с помощью вольтметра, ваттметра и амперметра:

а — нормальная; *б* — перевернутая.

минимальны. Следует также иметь в виду, что при измерениях $\operatorname{tg}\delta$ возможны электромагнитные влияния на мост от испытательного и регулировочного трансформаторов. Во избежание этого рекомендуется располагать их на расстоянии не менее чем на 0,5 *м* от моста.

Значительно реже $\operatorname{tg}\delta$ измеряют с помощью ваттметра, вольтметра и амперметра (рис. III.16).

Для углов $\delta < 20°$ с достаточной для практики точностью справедливо соотношение

$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}(90 - \varphi) \simeq \cos\varphi = \frac{P}{UI}. \qquad \text{(III.12)}$$

Если $\delta > 20°$, что встречается редко, $\lg \delta$ может быть определен по значениям $\cos \varphi$ с помощью тригонометрических таблиц. При этом емкость испытуемого объекта

$$C_x = \frac{I}{\omega U} \ [\text{мкф}] \qquad (III.13)$$

Испытание изоляции повышенным напряжением

Испытание изоляции повышенным напряжением позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии местных и общих дефектов, не обнаруживаемых другими способами. Испытанию изоляции повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка состояния изоляции другими методами, описанными ранее. Изоляция может быть подвергнута испытанию повышенным напряжением только при положительных результатах предшествующих проверок. Величина испытательного напряжения для каждого вида оборудования определяется установленными нормами, приведенными в соответствующих главах настоящего справочника.

Испытание повышенным напряжением обязательно для электрооборудования напряжением 35 *кв* и ниже, а при наличии испытательных устройств — и для оборудования напряжением выше 35 *кв*, за исключением случаев, оговоренных нормами. Изоляторы и оборудование с номинальным напряжением, превышающим номинальное напряжение установки, в которой они эксплуатируются, могут испытываться повышенным напряжением по нормам, установленным для класса изоляции данной установки.

Изоляция считается выдержавшей испытание повышенным напряжением в том случае, если не было пробоя, частичных разрядов, выделений газа или дыма, резкого снижения напряжения и возрастания тока через изоляцию, местного нагрева изоляции.

В зависимости от вида оборудования и характера испытания изоляция может быть испытана приложением повышенного напряжения переменного тока или выпрямленного напряжения. В тех случаях, когда испытание изоляции производится как переменным, так и выпрямленным напряжением, испытание выпрямленным напряжением должно предшествовать испытанию переменным напряжением.

Испытание изоляции повышенным напряжением переменного тока

В качестве испытательного напряжения используется обычно напряжение промышленной частоты. Время приложения испытательного напряжения принято равным 1 *мин* для главной изоляции и 5 *мин* для межвитковой. Такая продолжительность приложения испытательного напряжения не сказывается на состоянии изоляции, не имеющей дефектов, и достаточна для осмотра находящейся под напряжением изоляции.

Скорость повышения напряжения до одной трети испытательного значения может быть произвольной, в дальнейшем испытательное напряжение следует повышать плавно, со скоростью, допускающей визуальный отсчет на измерительных приборах. Согласно ГОСТу 11828-66, при испытании изоляции электрических машин время повышения напряжения от половинного до полного значения должно быть не менее 10 *сек*. После установленной продолжительности испытания напряжение плавно снижается до величины, не превышающей одной трети испытательного, и отключается. Резкое снятие напряжения допускается в тех случаях, когда это необходимо для обеспечения безопасности людей или сохранности оборудования. Под продолжительностью испытания подразумевается время приложения полного испытательного напряжения.

Минимально допустимые расстояния по воздуху от токоведущих частей, находящихся под испытательным напряжением, до заземленных предметов и частей установки, находящихся под рабочим напряжением, приведены в табл. III.2.

Таблица III.2

Значения изоляционных расстояний (по воздуху) при испытаниях

Испытательное напряжение, *кв*	Расстояние, *см*						
	до заземленных предметов	до частей установки, находящихся под рабочим напряжением, *кв*					
		до 10	35	110	154	220	400
20	5	25	—	—	—	—	—
30	10	25	—	—	—	—	—
40	20	30	—	—	—	—	—
50	25	30	50	110	150	210	—
60	30	—	55	115	155	215	—
70	40	—	60	120	160	220	—
80	45	—	65	120	160	220	—
90	50	—	70	125	165	225	—
100	60	—	75	130	170	230	390
150	80	—	—	150	190	250	410
200	90	—	—	170	205	265	425
250	120	—	—	190	230	290	450
300	140	—	—	215	255	310	470
350	150	—	—	—	270	320	480
400	180	—	—	—	300	330	490
450	190	—	—	—	—	350	515
500	200	—	—	—	—	370	530
550	220	—	—	—	—	390	550
600	240	—	—	—	—	—	570
650	260	—	—	—	—	—	600
700	300	—	—	—	—	—	615
800	360	—	—	—	—	—	660
900	400	—	—	—	—	—	710

Для предотвращения недопустимых перенапряжений при испытаниях (из-за высших гармоник в кривой испытательного напряжения) испытательная установка должна быть по возможности включена на линейное напряжение сети. Форму кривой напряжения можно контролировать электронным осциллографом.

Величину испытательного напряжения, за исключением ответственных испытаний (генераторов, крупных двигателей и т. п.), измеряют

на стороне низкого напряжения. Необходимо иметь в виду, что при испытании объектов с большой емкостью напряжение на высокой стороне испытательного трансформатора за счет емкостного тока может несколько превышать расчетное по коэффициенту трансформации.

При ответственных испытаниях испытательное напряжение измеряют на высокой стороне испытательного трансформатора с помощью трансформаторов напряжения или электростатическими киловольтметрами. В тех случаях, когда одного трансформатора напряжения

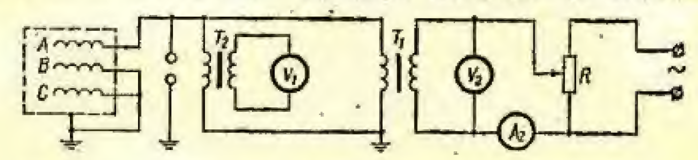


Рис. III.17. Схема испытания изоляции повышенным напряжением переменного тока.

для измерения испытательного напряжения недостаточно, допускается последовательное соединение двух однотипных трансформаторов напряжения.

Для защиты ответственных объектов от случайного опасного повышения напряжения параллельно испытуемому объекту должны быть включены через сопротивление (2—5 *ом* на каждый вольт испытательного напряжения) шаровые разрядники с пробивным напряжением, равным 110% испытательного. Схема испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением переменного тока приведена на рис. III.17. Перед подачей напряжения на испытуемый объект полностью собранную схему опробуют вхолостую и проверяют напряжение пробоя шаровых разрядников.

Таблица III. 3

Ориентировочные значения емкости некоторых объектов испытания

Объект испытаний	Емкость, *пф*
Вводы трансформаторов и масляных выключателей	50—800
Трансформаторы напряжения и тока	50—1000
Силовые трансформаторы, некоторые трансформаторы напряжения, электродвигатели мощностью до 100 *квт*	1000—10 000
Электродвигатели мощностью больше 100 *квт*	10 000—100 000
Турбогенераторы мощностью 15—150 тыс. *квт*	100 000—300 000

Мощность испытательного трансформатора может быть определена из выражения

$$P = \omega C_x U U_{\text{ном}} 10^{-9} \ [\text{ква}], \qquad (\text{III}.14)$$

где C_x — емкость изоляции испытуемого объекта, *пф*; U — испытательное напряжение, *кв*; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение вторичной (высоковольтной) обмотки испытательного трансформатора, *кв*; ω — угловая частота испытательного напряжения. Ориентировочные значения емкости отдельных видов оборудования приведены в табл. III.3. Если нет данных о величине емкости испытуемого объекта, емкость можно измерить на низком напряжении мостом МД-16 или с помощью амперметра и вольтметра.

В качестве испытательных трансформаторов, кроме специальных, можно использовать силовые трансформаторы и трансформаторы напряжения. Силовые трансформаторы при таком использовании допускают нагрузку по току до 250% номинальной при трехкратном (пофазном) испытании с двухминутным перерывом между приложениями напряжения. Для трансформаторов напряжения типа НОМ допустимо повышение напряжения на первичной обмотке до 150—170% номинального. При отсутствии испытательного трансформатора достаточной мощности возможно параллельное включение однотипных трансформаторов.

Испытание изоляции выпрямленным напряжением

Применение выпрямленного испытательного напряжения позволяет значительно уменьшить мощность испытательной установки, делает возможным испытание объектов с большой емкостью (кабелей,

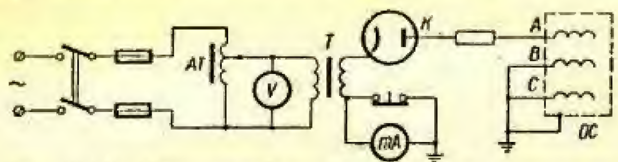


Рис. III.18. Принципиальная схема испытания изоляции выпрямленным напряжением.

конденсаторов и др.), позволяет контролировать состояние изоляции по измеряемым токам утечки.

При испытании изоляции выпрямленным напряжением, как правило, применяются схемы однополупериодного выпрямления. На рис. III.18 приведена принципиальная схема испытания изоляции выпрямленным напряжением.

Методика испытания изоляции выпрямленным напряжением аналогична таковой при испытаниях переменным напряжением; дополнительно ведется контроль за величиной тока утечки. Время приложения выпрямленного напряжения более продолжительно, чем при испытании переменным напряжением, и в зависимости от испытуемого оборудования установлено нормами до 10—15 *мин*. Измерение величины испытательного напряжения, как правило, осуществляется с помощью вольтметра, включенного на стороне низкого напряжения испытательного трансформатора (с пересчетом по коэффициенту трансформации). Поскольку выпрямленное напряжение определяется амплитудным значением, показания вольтметра (измеряющего эффективные значения напряжения) необходимо умножить на $\sqrt{2}$. Следует помнить, что внутреннее сопротивление выпрямительной лампы, небольшое при нормальном накале катода, резко возрастает при недостаточном токе накала.

При этом падение напряжения в выпрямительной лампе увеличивается, а на испытуемом объекте уменьшается. Поэтому при испытаниях необходимо следить за величиной напряжения питания испытательной установки.

Как и при испытаниях переменным напряжением, в целях защиты ответственных объектов от случайного чрезмерного повышения напряжения рекомендуется параллельно испытуемому объекту включить через сопротивление (2—5 *ом* на каждый вольт испытательного напряжения) разрядник с пробивным напряжением, равным 110—120% испытательного.

Ток, проходящий через изоляцию при испытаниях выпрямленным напряжением, в большинстве случаев не превышает 5—10 *ма*, что обусловливает небольшую мощность испытательного трансформатора.

Испытания изоляции выпрямленным напряжением проводят с помощью специальных испытательных аппаратов, технические характеристики которых приведены в гл. IV.

При испытаниях объектов с большой емкостью (силовые кабели, конденсаторы, обмотки крупных электрических машин) заряженная до испытательного напряжения емкость объекта имеет большой запас энергии, мгновенный разряд которой может привести к разрушению аппаратуры испытательной установки. Поэтому разряжать испытуемый объект следует так, чтобы разрядный ток не проходил через измерительный прибор. Для снятия заряда с испытуемых объектов используются заземляющие штанги, в электрическую цепь которых включается сопротивление в пределах 5—50 *ком*. В качестве разрядных сопротивлений для объектов, обладающих большой емкостью, применяют наполненные водой резиновые трубки.

Заряд емкости даже после кратковременного наложения заземления может сохраняться длительно и представлять опасность для жизни персонала. Поэтому после того, как испытуемый объект разряжен с помощью разрядного устройства, он должен быть наглухо заземлен.

Испытание изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 в

Согласно ПУЭ, у всех аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 *в* должно быть измерено сопротивление

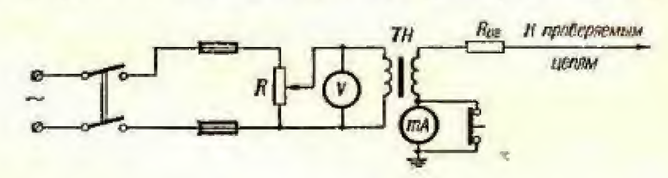


Рис. III.19. Схема испытания изоляции вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока.

изоляции и проведено испытание повышенным напряжением. Допустимые минимальные величины сопротивления изоляции приведены в табл. III.4.

Таблица III. 4

Предельные величины сопротивления изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводки напряжением до 1000 *в*

Испытываемая изоляция	Напряжение мегомметра, *в*	Минимальное значение сопротивления изоляции, *Мом*	Примечания
Катушки контакторов, магнитных пускателей и автоматов	500—1000	0,5	—
Вторичные цепи управления, защиты, измерения и т. п.:			
шины постоянного тока и шины напряжения на щите управления (при отсоединенных цепях)	500—1000	10	—
каждое присоединение вторичных цепей и цепей питания приводов выключателей и разъединителей	500—1000	1	Производится со всеми присоединенными аппаратами (катушки приводов, контакторы, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т. д.)
цепи управления, защиты и возбуждения машин постоянного тока напряжением 500—1100 *в*, присоединенные к цепям главного тока	500—1000	1	—
Силовые и осветительные электропроводки	1000	0,5	Сопротивление изоляции при снятых плавких вставках измеряется на участке между смежными предохранителями или за последними предохранителями между любым проводом и землей, а также между двумя любыми проводами. При измерении сопротивления в силовых цепях должны быть отключены электроприемники, а также аппараты, приборы и т. п. При измерении сопротивления в осветительных цепях лампы должны быть вывинчены, а штепсельные розетки, выключатели и групповые щитки присоединены
Распределительные устройства, щиты и токопроводы	1000	0,5	Для каждой секции распределительного устройства

Величина испытательного напряжения промышленной частоты принята равной 1000 *в*. Продолжительность приложения испытательного напряжения — 1 *мин*.

Схема испытания изоляции приведена на рис. III.19. Испытания проводятся в полностью собранной схеме. При большом числе разветвленных цепей для предотвращения перегрузки испытательного трансформатора емкостными токами испытания следует выполнять раздельно по участкам. Перед испытанием в схеме снимаются все заземления, отсоединяются вторичные обмотки трансформаторов напряжения, аккумуляторные батареи, а также вся аппаратура, изоляция которой не допускает испытания повышенным напряжением. Временные перемычки, которые необходимо поставить по условию объединения участков схемы, подвергаемых испытанию, должны отличаться от других проводов.

Во избежание повреждения в случае пробоя испытуемой изоляции при испытании шунтируются конденсаторы, полупроводниковые элементы, электронные лампы должны быть вынуты из панелек; при наличии в испытательной схеме приборов с обмотками напряжения и тока, изоляция между которыми рассчитана на испытательное напряжение 500 *в*, эти обмотки на время испытания должны быть соединены временными перемычками между собой и отсоединены от неиспытуемых цепей. При испытаниях шунтируют также катушки аппаратов с большой индуктивностью во избежание резонанса, который может появиться при определенной емкости кабелей. Изоляция вторичных цепей считается выдержавшей испытания, если при испытаниях не обнаружены скользящие разряды, пробои изоляции, резкие толчки тока и напряжения, а также если при повторной проверке мегомметром сопротивление изоляции не уменьшилось.

Если нет специальной испытательной аппаратуры, то в качестве испытательного трансформатора может быть использован трансформатор напряжения типа НОМ-3. Мощность испытательного трансформатора 200—300 *ва* при напряжении 1000 *в*, как правило, достаточна. Ограничительное сопротивление принимается порядка 1000 *ом*.

При отсутствии испытательной аппаратуры допускается, как исключение, замена испытания переменным напряжением 1000 *в* одноминутным измерением сопротивления изоляции мегомметром 2500 *в*.

Глава IV

АППАРАТУРА ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНО-НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Регулировочные устройства

В процессе испытательно-наладочных работ при выполнении многих операций требуется плавное изменение напряжения и тока. Регулировочные устройства необходимы в первую очередь при испытаниях изоляции повышенным напряжением, опробовании защит первичным током, поверке электроизмерительных приборов, снятии характеристик электроаппаратуры и средств автоматизации и т. п. В наладочной практике в качестве регулировочных устройств применяют: а) проволочные реостаты (ползунковые и ступенчатые); б) жидкостные реостаты; в) регулировочные автотрансформаторы (АТ) со щеточным токосъемным устройством; г) бесконтактные регулировочные автотрансформаторы; д) индукционные регуляторы.

Проволочные ползунковые и ступенчатые реостаты

Проволочные реостаты применяют как регулировочные устройства, главным образом при проверке элементов релейной защиты и при

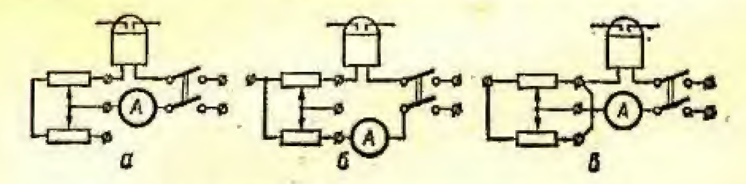


Рис. IV.1. Схемы включения ползунковых реостатов:
а — один реостат; *б* — последовательно включены два реостата; *в* — параллельно включены два реостата.

испытаниях установок постоянного тока. Кроме того, их часто используют в тех случаях, когда не допускаются даже небольшие искажения формы кривой регулируемого напряжения (тока).

Ползунковые реостаты типа РСП (табл. IV.1) пригодны для регулирования напряжения в цепях постоянного и переменного тока небольшой мощности и тока до 7 *а*. Схемы включения реостатов приведены на рис. IV.1.

Весьма удобны сдвоенные реостаты типа РСПС (табл. IV.2).

Таблица IV.1

Технические данные реостатов типа РСП

Вариант	Допустимый ток, *а*	Сопротивление, *ом*				Диаметр проволоки, *мм*
		РСП-1	РСП-2	РСП-3	РСП-4	
1	0,25	1440	2900	4300	6500	0,24
2	0,35	740	1450	2200	3350	0,25
3	0,45	410	825	1280	1950	0,30
4	0,55	260	520	800	1200	0,33
5	0,7	180	345	530	800	0,40
6	0,85	125	240	370	560	0,45
7	1,0	95	170	265	400	0,50
8	1,4	50	105	165	250	0,60
9	1,7	30	65	100	150	0,70
10	2,1	20	41	63	95	0,80
11	2,6	15	30	45	70	0,90
12	3,0	10,5	22	33	50	1,0
13	3,4	8	17	25	38	1,10
14	4,0	6,5	13	20	30	1,20
15	4,5	—	10	15,5	23	1,30
16	5,0	—	8	12,5	19	1,40
17	5,5	—	6,8	10,6	16	1,50
18	6,2	—	5,5	8,5	13	1,60
19	7,0	—	4,5	7,0	11	1,70

Таблица IV.2

Технические данные сдвоенных реостатов типа РСПС

Реостат	Допускаемый ток, *а*, при соединении трубок		Максимальное сопротивление, *ом*, при соединении трубок	
	параллельном	последовательном	параллельном	последовательном
РСПС-2	0,5—14,0	0,25—7,0	2,2—1400	9—5600
РСПС-3	0,5—14,0	0,25—7,0	3,5—2150	15—8600

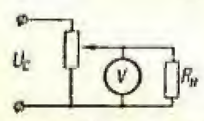


Рис. IV.2. Схема включения реостата потенциометром.

Для регулирования напряжения реостат включают по схеме потенциометра (рис. IV.2).

Потенциометр выбирается по условиям плавности регулирования напряжения и допустимому току.

Для удовлетворения первого условия сопротивление потенциометра должно быть по возможности большим. Для выполнения второго условия потенциометр должен длительно выдерживать ток нагрузки и собственного потребления.

Чтобы снизить влияние величины нагрузки на величину снимаемого с потенциометра напряжения, сопротивление реостата должно удов-

летворять следующему условию:

$$R_{нагр} \geqslant R_р. \quad \text{(IV.1)}$$

Для регулирования малых значений напряжения применяется источник регулируемого напряжения типа ИРН-64.



Рис. IV.3. Схема секционного реостата с последовательным включением секций и ступенчатым регулированием.

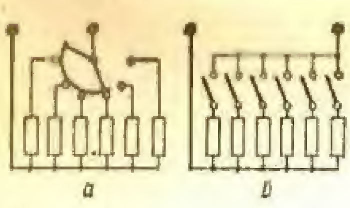


Рис. IV.4. Схема секционных реостатов с параллельным включением секций и ступенчатым регулированием:

а — общий переключатель; *б* — раздельные переключатели.

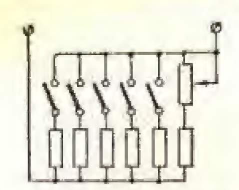


Рис. IV.5. Схема секционного реостата с плавноступенчатым регулированием.

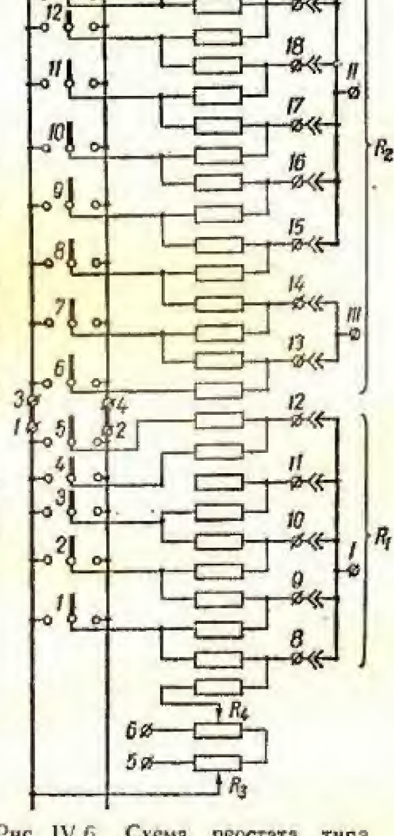


Рис. IV.6. Схема реостата типа ЦЛЭМ Мосэнерго.

Устройство типа ИРН-64. Напряжение на выходных зажимах 2,5—0—50; 5—0—100 *мв* при нагрузке 100 *ом*. Внутреннее сопротивление 15—25 *ом*. Допустимый ток 0,04 *а*.

Некоторыми энергосистемами (Мосэнерго, Ленэнерго и др.) разработаны и изготовлены устройства для проверки релейной защиты с

ползунковыми реостатами, рассчитанными на большие токи. Однако эти устройства не получили распространения.

Обычно для этой цели используют ступенчатые реостаты в сочетании с ползунковыми (рис. IV.3—IV.5).

На рис. IV.6 в качестве примера показана схема реостата ЦЛЭМ Мосэнерго. В реостате имеются два плеча — R_1 и R_2. Плечо R_1 состоит из 10 секций по 44 *ом* каждая. Секции выполнены из нихромовой проволоки диаметром 0,9 *мм*. Плечо R_2 имеет 16 таких секций. Длительно допустимый ток секции 5*а* (5,5 *а* в течение 5 *мин*).

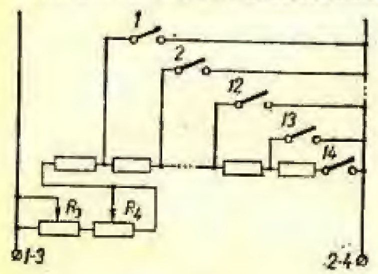


Рис. IV.7. Схема регулирования тока реостатом типа ЦЛЭМ Мосэнерго в пределах 0,25—5 *а*.

Реостаты плавной регулировки R_3 и R_4 рассчитаны на длительный ток 4 *а*, полное суммарное сопротивление их 300 *ом*. Перемычки I, II и III служат для закорачивания половины секций при включении реостата на напряжение 127 *в*; при включении на 220 *в* перемычки снимают. Перемычки *1—3* и *2—4* позволяют включать оба плеча реостата раздельно или параллельно; в последнем случае полный ток реостата близок к 70 *а*.

На рис. IV.7 приведена принципиальная схема включения реостата для регулирования тока от 0,25 (включен только рубильник *14*) до 5*а* (включены все рубильники). Реостаты такого типа (со штеккерными переключателями) применяют также в мостовых и потенциометрических установках высокого класса точности.

Жидкостные реостаты

При регулировке как переменного, так и постоянного тока иногда используют жидкостные (водяные) реостаты. Несмотря на то что такие реостаты неудобны, они все же находят применение в процессе наладки вследствие простоты и возможности их изготовления практически в любых условиях. Регулировка тока осуществляется либо изменением положения электрода относительно металлического сосуда (бака, ведра и др.), в который налита вода, либо изменением уровня воды в сосуде.

Проводимость реостата можно увеличивать в некоторых пределах, добавляя в воду поваренную соль или соду. Жидкостные реостаты можно изготовлять также на большие мощности (до 5000 *квт*), когда нужно создать искусственную нагрузку для синхронных генераторов. При этом нагрузка регулируется изменением количества воды, протекающей через реостат.

Регулировочные автотрансформаторы

Наиболее широко для регулирования напряжения применяют регулировочные АТ со щеточным токосъемом. Такие АТ представляют собой железный сердечник с медной обмоткой, намотанной в один ряд. По наружной поверхности обмотки, очищенной от изоляции, скользит

одна или несколько контактных щеток. Через щетки снимается регулируемое напряжение. Эти трансформаторы называют вариаторами (табл. IV.3), регуляторами напряжения и лабораторными регулировочными АТ (рис. IV.8).

Лабораторные автотрансформаторы типов ЛАТР-1М и ЛАТР-2М по конструкции и техническим данным незначительно отличаются от регуляторов РНО-250-0,5 и РНО-250-2.

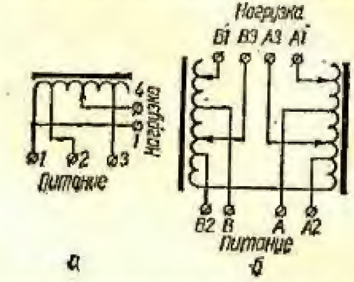


Рис. IV.8. Схема регулировочных АТ:
а — тип РНО-250-0,5 (7); б — тип РНО-250-5 (10).

Таблица IV.3

Технические данные регулировочных автотрансформаторов (вариаторов)

Вариатор	Номинальное напряжение сети, *в*	Максимально регулируемое напряжение, *в*	Максимальная мощность, *ква*	Максимально допустимый ток нагрузки одной пары щеток, *а*	Число регулируемых цепей	Вес, *кг*	Система охлаждения
			Однофазные				
РНО-250-0,5	127/220	250	0,5	2	1	5	Воздушная
РНО-250-2	127/220	250	2,0	8	1	15	То же
РНО-250-5	127/220	250	5,0	20	2	40	То же
РНО-250-10	127/220	240	10,0	40	2	70	Масляная
			Трехфазные				
РНТ-220-6	127/220	220±5%	6	16	2	60	Масляная
РНТ-220-12	127/220	220±5%	12	32	2	100	То же

Бесконтактные регулировочные трансформаторы и автотрансформаторы. Индукционные регуляторы

Принцип действия бесконтактных регулировочных трансформаторов и автотрансформаторов основан на изменении индуктивной связи обмоток, расположенных на магнитопроводе. Конструктивно это осуществляется перемещением (вручную или электроприводом) подвижной вторичной обмотки. В табл. IV.4 приведены технические данные трансформаторов для регулирования напряжения типа РОТ и РТТ.

Таблица IV.4

Технические данные трансформаторов для регулирования напряжения

Трансформатор	Номинальное напряжение, *в*		Номинальная мощность, *ква*	Номинальный вторичный ток, *а*	Потери, *вт*		Схема соединения обмоток
	первичное	вторичное			х. х.	к. з.	
РОТ-25/0,5	220	0—230	25	108,7	1000	860	I/I
РТТ-25/0,5	380/220	0—400	25	36,4	1000	860	Y/Y_0

Индукционные регуляторы (потенциал-регуляторы) представляют собой заторможенный асинхронный электродвигатель с фазным ротором, обмотки которого имеют автотрансформаторную (реже трансформаторную) связь. В однофазных индукционных регуляторах вторичное напряжение всегда совпадает по фазе с первичным, в трехфазных вторичное напряжение изменяется по величине и по фазе. Из-за большого веса и громоздкости индукционные регуляторы используются, как правило, в стационарных установках.

Испытательные трансформаторы

Высоковольтные испытательные трансформаторы применяют при испытаниях изоляции повышенным напряжением. Для этой цели используют как специальные испытательные трансформаторы, так и трансформаторы, предназначенные для получения высокого напряжения в различных энергетических и промышленных установках. В зависимости от емкости объекта испытаний испытательные трансформаторы принято делить на две группы: 1) трансформаторы, предназначенные для испытания изоляции подстанционного оборудования (емкость не выше 10 000 *пф*); 2) трансформаторы для испытания изоляции вращающихся машин.

Трансформаторы для подстанционного оборудования

Московский трансформаторный завод выпускает специальные высоковольтные испытательные трансформаторы типа ИОМ. Один вывод высоковольтной обмотки снабжен изолятором, рассчитанным на полное испытательное напряжение, второй заземляется.

Длительная работа трансформаторов типа ИОМ допускается при напряжении, равном $^2/_3$ номинального, и нагрузке, составляющей 0,6 номинальной. Полные (номинальные) напряжение и ток допустимы только в течение 30 *мин*. Трансформатор должен быть защищен шаровыми разрядниками.

Кроме трансформаторов типа ИОМ, для испытания изоляции подстанционного оборудования могут быть использованы высоковольтные трансформаторы для электрофильтров типа АФА-90-200, трансформаторы типа ТВО-140-50 и др. Технические данные некоторых трансформаторов, применяемых в качестве испытательных, приведены в табл. IV.5.

Таблица IV.5

Технические данные некоторых трансформаторов, применяемых для испытания изоляции повышенным напряжением

Трансформатор	Номинальное напряжение обмоток, *кв*		Номинальная мощность, *ква*	Номинальный ток, *а*, обмотки высокого напряжения	Вес, *кг*
	низшее	высшее			
ИОМ-100/25	0,2 или 0,35	100	25	0,25	525
ИОМ-100/100	0,2 или 0,35	100	100	1,0	990
АФА-90—200	0,38	80	18	0,22	250
ТВО-140—50	0,19	100	5	0,05	150

Трансформаторы для вращающихся машин

Для испытания изоляции вращающихся машин повышенным напряжением переменного тока могут быть использованы силовые трансформаторы (одно- и трехфазные), трансформаторы напряжения и др. В табл. IV.6 и IV.7 приведены технические данные однофазных силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения, которые могут быть использованы при испытаниях.

Таблица IV.6

Технические данные однофазных силовых трансформаторов

Трансформатор	Номинальное напряжение обмоток, *кв*		Номинальная мощность, *ква*	Напряжение короткого замыкания, %	Вес, *кг*
	высшее	низшее			
ОМ-4/6	6	0,23/0,4	4	4	150
ОМ-4/10	10	0,23/0,4	4	4	150
ОМ-10/6	6	0,23/0,4	10	4	165
ОМ-10/10	10	0,23/0,4	10	4	165
ОМ-10/27,5	27,5	0,23	10	5,9	310

Высоковольтные аппараты для испытания изоляции

Аппарат типа АИИ-70 (рис. IV.9) предназначен для испытания электрической прочности изоляции элементов электроустановок, в том числе силовых кабелей и жидких диэлектриков, постоянным (выпрямленным) или переменным током высокого напряжения.

Технические данные: максимальное напряжение при испытании выпрямленным током 70 *кв*, при испытании переменным

Таблица IV.7

Технические данные трансформаторов напряжения, используемых в качестве испытательных

Трансформатор	Номинальный коэффициент трансформации	Максимальная мощность, *ква*		Максимальный ток обмотки, *а*		Вес, *кг*
		длительная	одноминутная	длительный	одноминутный	
НОМ-6	6000/100	0,6	1,5	6	15	23
НОМ-10	10 000/100	0,72	3,5	7,2	35	36,2
НОМ-15	15000/100	0,84	4,0	8,4	40	81
ЗНОМ-35	$35\,000:\sqrt{3}$ / $100\sqrt{3}\div100:3$	1,2	5,0	13 *	55 *	200
НОМ-35	35 000/100	1,2	6,0	12	60	248

* Величина тока приведена для последовательного соединения обмоток низкого напряжения.

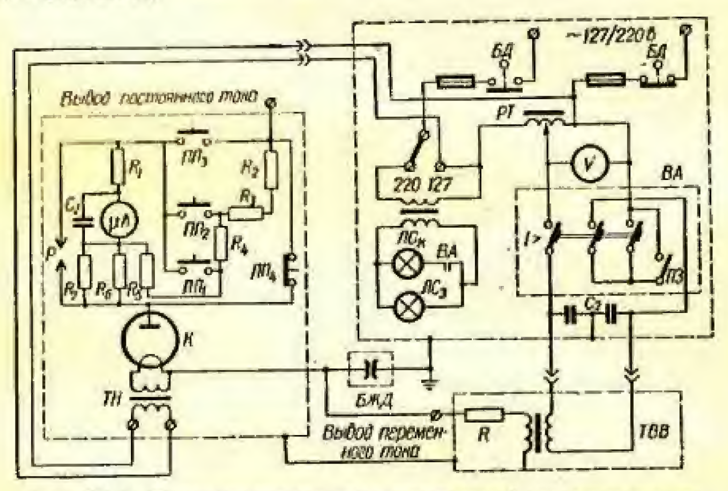


Рис. IV.9. Принципиальная схема соединений кенотронного аппарата АИИ-70.

током 50 *кв*; напряжение питающей сети 127, 220 *в*; наибольший выпрямленный ток 5 *ма*; выходная одноминутная мощность высоковольтного трансформатора 2 *ква*; время работы под нагрузкой (с кенотронной приставкой) 10 *мин*; интервал между включениями 3 *мин*; вес аппарата 175 *кг*.

Ток выпрямляется с помощью *кенотрона типа КРМ-150* по однополупериодной схеме. В анодную цепь кенотрона включен блок микроамперметра с пределами измерений 200, 1000 и 5000 *мка*. Испытательное напряжение измеряется вольтметром, включенным с низкой

стороны трансформатора и отградуированным в киловольтах эффективных (до 50) и максимальных (до 70).

В кенотронный аппарат встроена защита (чувствительная и более грубая) от коротких замыканий на стороне высокого напряжения.

В комплект аппарата входит заземляющая штанга, предназначенная для снятия емкостного заряда с испытуемого объекта и его глухого заземления.

Высоковольтное выпрямительное устройство В-140-5-2 (рис. IV.10) предназначено для выпрямления переменного тока в стационарных установках по окраске изделий в электростатическом поле. Оно может быть применено при высоковольтных испытаниях.

Технические данные: напряжение питающей сети 220 *в*; номинальное выпрямленное напряжение — до 140 *кв* максимальных; номинальный выпрямленный ток 5 *ма*; номинальная мощность 2,0 *ква*; вес 150 *кг*; выпрямительная лампа КР-220.

Высоковольтное выпрямительное устройство В-200-0,5 служит для питания выпрямленным напряжением стационарных лабораторных установок различного назначения.

Технические данные: напряжение питающей сети 127/220 *в*; выпрямленное напряжение до 200 *кв* максимальных; максимальный ток нагрузки 500 *мка*; пульсация напряжения на выходе в пределах ±5%; вес 350 *кг*; выпрямитель — набор селеновых шайб типа АВС-7-3П. Отрицательный полюс устройства обязательно должен быть заземлен.

Рис. IV.10. Схема выпрямительного устройства В-140-5-2:

ТН — трансформатор накала; *РН* — регулятор напряжения типа РНО-250-2; *К* — кенотрон типа КР-220.

Универсальный аппарат ВЧФ-4-3 предназначен для испытания электрической прочности витковой изоляции: а) обмоток электрических машин переменного и постоянного тока мощностью 0,1—100 *квт* и больше; б) обмоток роторов турбогенераторов; в) полюсных катушек синхронных генераторов и машин постоянного тока; г) обмоток силовых трансформаторов I, II, III габаритов; д) обмоток ТТ; е) катушек различных электро- и радиоаппаратов.

Технические данные: напряжение питания 220 *в*; потребляемая мощность до 800 *ва*; выходное напряжение (регулируемое) 3000 *в*.

Чувствительность аппарата позволяет обнаружить один короткозамкнутый виток у катушек с числом витков 18 000—20 000, намотанных проводом диаметром 0,1 *мм* и больше.

Аппарат ЕЛ-1 предназначен для обнаружения витковых замыканий в обмотках электрических машин и аппаратов; для нахождения пазов с короткозамкнутыми витками в обмотках статоров, роторов и якорей электрических машин; для проверки правильности соединения обмоток электрических машин; для проверки правильности маркировки выводных концов фазовых обмоток электрических машин; для обнаружения обрывов в обмотках электрических машин и аппаратов.

Аппарат выявляет один короткозамкнутый виток на каждые 2000 витков катушки.

Схема аппарата состоит из трех основных узлов: электроннолучевой трубки с высоковольтным контуром питания, контура развертки луча и синхронизации, генератора импульсов.

Аппарат ЕЛ-1 переносный, собран в металлическом корпусе. Вес аппарата 9,5 *кг*. В комплект аппарата входит приспособление с двумя П-образными электромагнитами для нахождения в машине паза с короткозамкнутыми витками.

Передвижные электротехнические лаборатории

Электротехническая лаборатория на автошасси ГАЗ-51 типа ЭТЛ-10М предназначена для измерений и испытаний при приеме в эксплуатацию и профилактики электроустановок напряжением до 10 *кв* включительно, а также для сушки трансформаторного масла и электросварочных работ.

Электротехническая лаборатория на автошасси ГАЗ-66 типа ЭТЛ-35-02 предназначена для проведения полного комплекса поверочных и испытательных работ по оборудованию электростанций и подстанций 35/10 *кв* мощностью до 6300 *ква*, воздушных линий напряжением до 35 *кв* и определения мест повреждения в кабельных линиях напряжением до 10 *кв*.

Аппаратура для проверки релейной защиты, приборов и автоматики

Нагрузочные трансформаторы

Нагрузочные трансформаторы предназначены для получения больших токов (до нескольких тысяч ампер) при проверке релейной защиты,

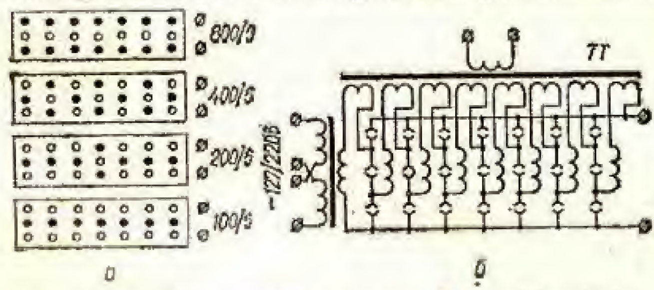


Рис. IV.11. Схема внешних выводов (● — гайка затянута, o — гайка отпущена) нагрузочного трансформатора типа ТН-3 (*а*) и его принципиальная схема (*б*).

трансформаторов тока, автоматов и т. п. первичным током. К нагрузочным относят также менее мощные трансформаторы (типа котельных), которые используют для получения токов до 80—100 *а*, необходимых при проверке вторичных реле, измерительных приборов, элементов

автоматики. Мощные нагрузочные трансформаторы разработаны и выпускаются небольшими сериями предприятиями энергосистем и строительно-монтажных трестов.

На рис. IV.11 в качестве примера приведена схема нагрузочного трансформатора (ТН-3) ЦЛЭМ Мосэнерго, который рассчитан на мощность 30 *ква* в течение 10 *сек*. В табл. IV.8 помещены технические данные этого трансформатора при различных соединениях выводов. Для удобства измерений в нагрузочный трансформатор встроен ТТ. Размеры нагрузочного трансформатора 320 × 230 × 290 *мм*, вес 26 *кг*.

Таблица IV.8

Технические данные нагрузочного трансформатора ТН-3 ЦЛЭМ Мосэнерго

Коэффициент трансформации при напряжении на первичной обмотке, *в*		Допустимый (номинальный) ток, *а*, при длительности		Вторичное напряжение х. х., *в*	Коэффициент трансформации измерительного трансформатора
110	220	до 10 *мин*	до 10 *сек*		
1 : 12	1 : 24	800	1800	9,2	800/5
1 : 6	1 : 12	400	900	18,4	400/5
1 : 3	1 : 6	200	600	36,8	200/5
1 : 1,5	1 : 3	100	300	73,6	100/5

В качестве нагрузочных трансформаторов при производстве пуско-наладочных работ часто используют сварочные трансформаторы.

Фазорегуляторы

В испытательно-наладочной практике иногда необходимо плавно изменить фазу подводимого напряжения относительно тока или другого напряжения. Чаще всего это требуется при проверке релейной защиты

Таблица IV.9

Технические данные фазорегуляторов, используемых для наладочных работ

Фазорегулятор	Номинальное напряжение, *в*		Мощность, *ква*	Ток, *а*		Вес, *кг*
	первичное	вторичное		первичный	вторичный	
МАФ 22	220	220	0,2	—	1,0	16
	220/380	220/380	0,5	2,9/1,7	1,3/0,8	
ФР-41	127/220	127/220		5,0/2,9	2,3/1,3	45
ФР-82-2	220/380	127/220	0,5	2,3/1,3	4,0/2,3	16

с элементами направления мощности. Для этой цели применяют индукционные фазорегуляторы (ФР) или вариаторы с переключателями.

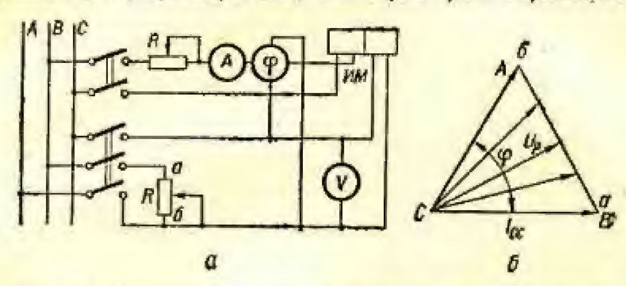


Рис. IV.12. Схема плавного изменения угла при помощи потенциометра:

а — схема включения; *б* — векторная диаграмма.

Индукционный ФР представляет собой заторможенный трехфазный АД с фазным ротором, включенный как трансформатор. При повороте ротора угол между вторичным и первичным напряжением может изменяться от 0 до 360 *электр. град*.

Технические данные некоторых типов фазорегуляторов приведены в табл. IV.9.

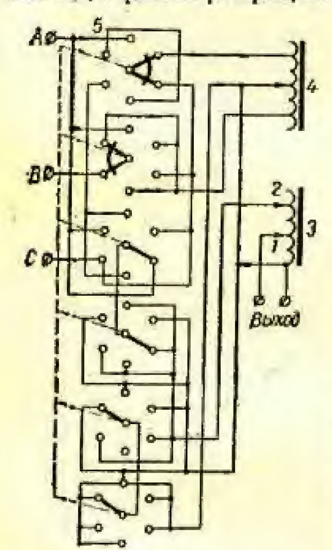


Рис. IV.13. Схема коммутационного фазорегулятора ЦЛЭМ Мосэнерго:

1 — основная щетка; *2* — дополнительная щетка; *3* — регулятор напряжения; *4* — регулятор угла; *5* — переключатель.

Коммутационные фазорегуляторы

Принцип действия ФР, собранного на базе потенциометра или вариатора, обмотка которого включена на линейное напряжение, а нагрузка подключена к движку и третьей фазе, показан с помощью векторной диаграммы на рис. IV.12, *б*.

На рис. IV.13 в качестве примера приведена схема коммутационного фазорегулятора ЦЛЭМ Мосэнерго. В этой конструкции переключение фаз, подаваемых на вариатор, осуществляется переключателем. Второй вариатор служит для одновременного поддержания величины выходного напряжения (из рис. IV.12, *б* видно, что при изменении угла изменяется и величина напряжения $U_р$). Кинематическая схема ФР такова, что при изменении угла (с помощью движка первого вариатора) одновременно перемещается дополнительная щетка второго вариатора, поддерживая на выходе постоянное по величине напряжение.

Для изменения угла ступенями по 30° можно использовать фазные и линейные напряжения.

В табл. IV.10 и IV.11 указано, какие фазы напряжения следует подводить к вариаторам для получения нужных углов между первичным и вторичным напряжением. При этом данные табл. IV.10 предусматривают возможность подачи междуфазных и фазных напряжений, а табл. IV.11 — только междуфазных.

Таблица IV.10

Фазы подводимых напряжений

Угол, *град*	Фазы подводимых напряжений: первая цепь	Фазы подводимых напряжений: вторая цепь	Векторная диаграмма	Угол, *град*	Фазы подводимых напряжений: первая цепь	Фазы подводимых напряжений: вторая цепь	Векторная диаграмма
0 и 360	A	A		180	A	—A	
30	A	AB		210	A	BA	
60	A	—B		240	A	B	
90	A	CB		270	A	BC	
120	A	C		300	A	—C	
150	A	CA		330	A	AC	

Устройства для регулирования частоты

Частоту чаще всего регулируют в пределах 45—50 *гц* (реже 50—55 *гц*) при проверке реле частоты и частотомеров.

Регулирование частоты осуществляется:

1) синхронными генераторами, на которых установлены реле частоты или частотомеры, при работе их вхолостую (крайне неэкономичный способ);

Таблица IV.11

Фазы подводимых напряжений

Угол, *град*	Фазы подводимых напряжений: первая цепь	Фазы подводимых напряжений: вторая цепь	Векторная диаграмма	Угол, *град*	Фазы подводимых напряжений: первая цепь	Фазы подводимых напряжений: вторая цепь	Векторная диаграмма
0 и 360	*AB*	*AB*	A, C, B	180	*AB*	*BA*	A, C, B, 180°, BA
60	*AB*	*CB*	A, C, B, 60°	240	*AB*	*BC*	A, C, B, BC, 240°
120	*AB*	*CA*	A, C, B, 120°, CA	300	*AB*	*AC*	A, AC, C, B, 300°

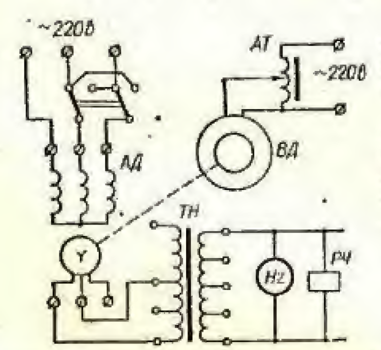


Рис. IV.14. Схема устройства для проверки реле частоты на базе *АД* с фазным ротором:

ВД — вспомогательный двигатель; *РЧ* — реле частоты.

2) лабораторными маломощными синхронными генераторами с приводом от регулируемых двигателей постоянного тока;

3) АД с фазным ротором, вращаемым от исполнительного двигателя со скоростью, равной ± 10% номинальной; обмотка статора при этом подключается к сети с напряжением, равным номинальному, а к незакороченной обмотке ротора подключаются поверяемые и образцовые приборы и реле (рис. IV.14);

4) ламповыми генераторами технической частоты.

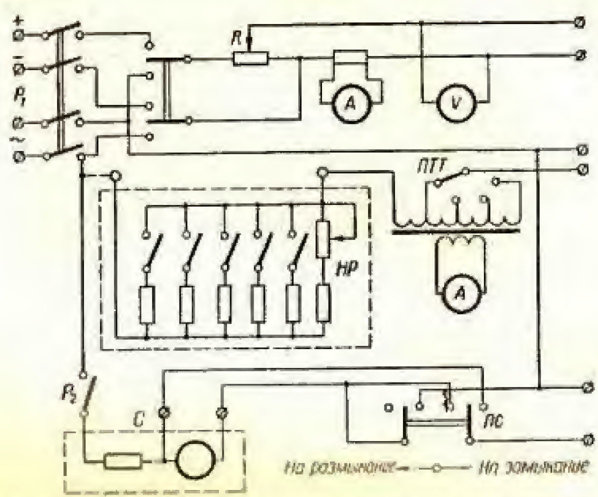


Рис. IV.15. Схема переносного устройства для проверки РЗ с нагрузочным реостатом *НР*;

С — секундомер, *ПС* — переключатель секундомера; *ПТТ* — переключатель *ТТ*.

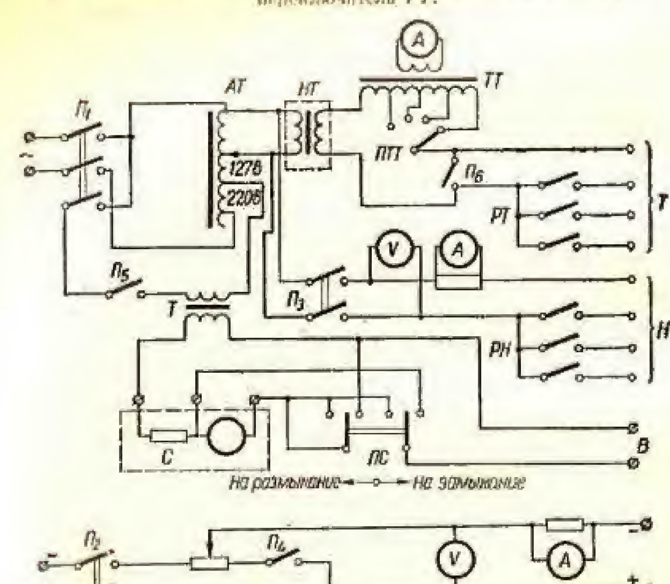


Рис. IV.16. Схема переносного устройства для проверки РЗ с нагрузочным трансформатором:

Т — токовые цепи; *Н* — цепи напряжения.

Комплектные испытательные устройства

Эти устройства широко используют при испытаниях релейной защиты и автоматики. Применение их значительно сокращает затраты времени на подбор испытательной аппаратуры и сборку схемы, повышает безопасность и удобство работ.

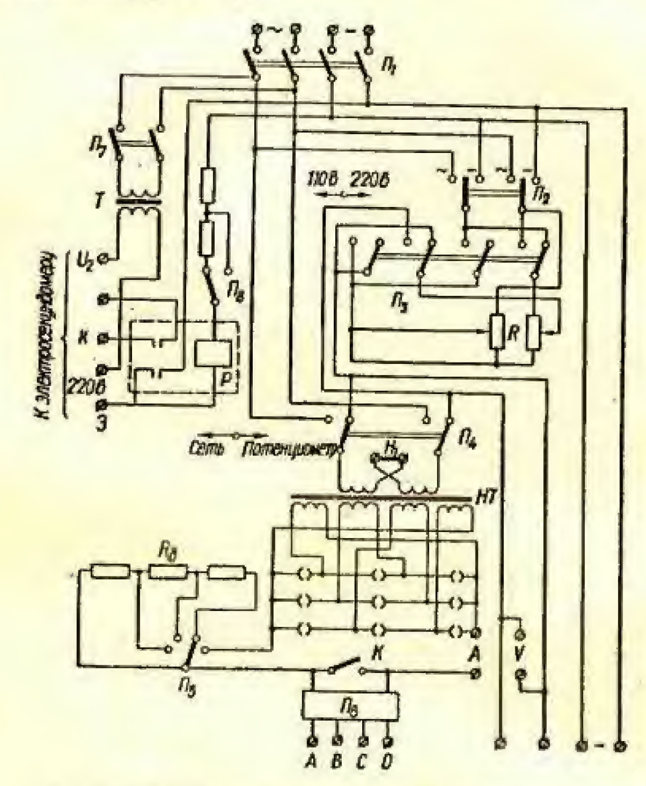


Рис. IV.17. Принципиальная схема испытательного устройства типа ИЗТ-3.

Существуют различные конструкции комплектных испытательных устройств, разработанных и изготовленных в различных пуско-наладочных и эксплуатационных организациях. В качестве примера на рис. IV.15 и IV.16 приведены принципиальные схемы простейших комплектных устройств с нагрузочным реостатом и трансформатором.

На рис. IV.17 приведена принципиальная схема более сложного испытательного устройства ИЗТ-3 (ЦЛЭМ Мосэнерго), в которое входят следующие элементы.

1. Потенциометр (реостат) R со ступенчатой двухсекционной обмоткой для включения на напряжение 220 и 110 *в*, как переменное, так и постоянное. Допустимый ток потенциометра при параллельном соединении секций 10 *а* длительно и 30 *а* на 30 *сек*, а при последовательном — соответственно 5 и 10 *а*.

2. Нагрузочный трансформатор НТ с двухсекционной первичной обмоткой для переключений на 110 и 220 *в* (накладкой $Н_1$). Вторичная обмотка также секционирована; переключения производятся на коммутаторе К. Максимальный длительный ток на выходе НТ 150 *а*; кратковременно (до 0,5 *мин*) можно получать токи до 400—500 *а* (в этом случае НТ включается в сеть непосредственно). Напряжение на выходе трансформатора 27,5; 55 или 110 *в*.

3. Добавочное сопротивление $R_д$, предназначенное для получения правильной формы кривой вторичного тока НТ при проверке элементов релейной защиты. Сопротивление разбито на ступени — 1; 6 и 30 *ом* с допустимыми токами соответственно 10, 5 и 1 *а*.

4. Разделительный трансформатор *Т* для включения электросекундомера.

5. Реле *Р* для остановки секундомера при проверке защит, работающих на постоянном оперативном токе.

6. Переключатели $П_1$, $П_2$, ..., $П_8$ для набора требуемой схемы и включения устройства.

Размеры устройства ИЗТ-3 490 × 420 × 204 *мм*; вес 25 *кг*. Устройство предназначено для проверки простых защит (максимальных токовых, отсечек и т. п.).

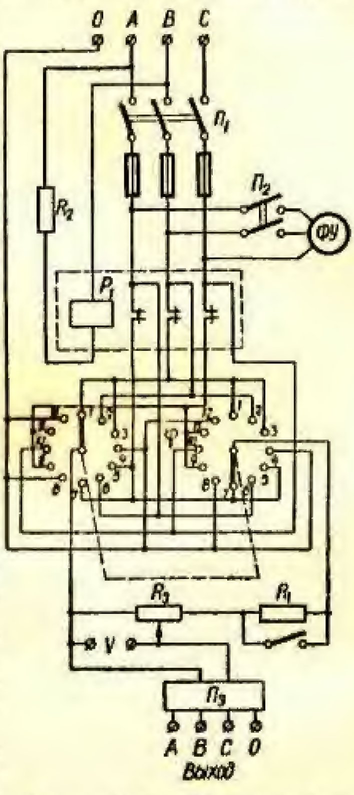


Рис. IV.18. Принципиальная схема приставки типа ИЗН-3.

Для проверки более сложных защит (направленных, дистанционных и др.) к устройству ИЗТ-3 добавляют приставку типа ИЗН-3 (рис. IV.18). Приставка ИЗН-3 позволяет плавно регулировать напряжение и осуществлять ступенчатое (через 30 или 60°) регулирование угла сдвига фаз между током от устройства ИЗТ-3 и напряжением приставки.

Приставка состоит из ступенчатого фазорегулятора φ; реле P_1, предотвращающего попадание на фазорегулятор линейного напряжения; потенциометра R_3, допускающего ток до 2 *а*; сопротивления R_1, которое вместе с потенциометром создает возможность плавного регулирования напряжения в небольших пределах; фазоуказателя.

Размеры приставки 420 × 205 × 270 *мм*; вес 10 *кг*.

Глава V

ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В процессе изготовления, пуска, ремонта и реконструкции электрические машины (ЭМ) подвергают испытаниям для определения пригодности их к эксплуатации. Объемы, программы, нормы и методы этих испытаний приводятся в ГОСТах, правилах устройства электротехнических установок, ведомственных и междуведомственных руководящих, директивных и инструктивных материалах, заводских инструкциях и т. д.

Общие технические требования к ЭМ определяются ГОСТом 183-66, который предусматривает также программы и методы контрольных и типовых испытаний машин после их изготовления.

Испытания проводят по методам, указанным в ГОСТе 11828-66, и в стандартах на отдельные виды машин или на методы их испытаний, а при отсутствии стандартов — в технических условиях на эти машины.

Методы испытаний машин постоянного тока содержатся в ГОСТе 10159-69, синхронных машин — в ГОСТе 10169-68, асинхронных двигателей — в ГОСТе 7217-66.

Объем наладочных работ по ЭМ включает следующие основные испытания, общие для машин всех типов:

1) внешний осмотр и проверка механической части машины;
2) измерение сопротивления изоляции обмоток;
3) определение возможности включения ЭМ без сушки;
4) испытание изоляции обмоток повышенным напряжением;
5) измерение сопротивления обмоток постоянному току;
6) снятие характеристики холостого хода;
7) измерение вибрации подшипников.

Помимо перечисленных испытаний в отдельных случаях проводятся специальные испытания:

1) на нагрев;
2) для определения потерь и к. п. д. машины;
3) для определения механических характеристик.

Кроме испытаний, общих для машин всех типов, в объем наладочных работ входят также испытания, определяемые типом испытуемой машины.

В настоящей главе дается только описание испытаний, общих для электрических машин всех типов.

Внешний осмотр и проверка механической части

Внешний осмотр — одна из эффективных форм профилактики и выявления неисправностей ЭМ.

ГОСТы, ПУЭ, ПТЭ, ведомственные и заводские инструкции требуют, чтобы при внешнем осмотре было проверено следующее:

1) чистота помещения, где установлена ЭМ;
2) комплектность машины (наличие всех деталей, паспортного и клеммного щитков и необходимых обозначений на них);
3) соответствие паспортных данных машины проектным данным или техническим условиям;
4) наличие и содержание технической документации по ревизии или ремонту машины;
5) заполнение подшипников смазкой до заданного уровня и отсутствие течи масла;
6) отсутствие во внутренних частях машины посторонних предметов (для этого пространство между железными частями просвечивают или проверяют шнуром; машину продувают сухим чистым воздухом с помощью резинового шланга без металлического мундштука);
7) соответствие предусмотренного заводом направления вращения с направлением, необходимым для сочленения с первичным двигателем или приводным механизмом (если на корпус ЭМ нанесена заводская метка, указывающая направление вращения, то этого, как правило, требует конструкция вентилятора, не обеспечивающего при вращении в обратном направлении подачи нужного для охлаждения машины количества воздуха; в этом случае машину следует развернуть на 180°, когда имеются выводы вала с двух сторон, или переставить крыльчатку вентилятора);
8) целость изоляции и соединений видимых частей обмоток и выводов; при этом проверяется надежность креплений и распорок лобовых частей обмоток и необходимое расстояние между неизолированными частями и корпусом;
9) состояние коллектора, токосъемных колец, щеткодержателей и щеток;
10) наличие заземляющей проводки и качество соединения ее с машиной;
11) наличие и соответствие проекту контрольно-измерительных приборов, термодетекторов, маслоуказателей, а также правильность их установки;
12) состояние устройств для тушения пожара;
13) состояние соединительной муфты или ременной передачи, наличие защитного кожуха;
14) плотность прилегания двух половин разъемной станины (в разъем не должен входить щуп толщиной 0,3 *мм*);
15) соответствие выбранных щеток техническим условиям.

Измерение величины воздушных зазоров

Величину воздушных зазоров проверяют набором щупов (рис. V.1) под каждым полюсом (у машин с явно выраженными полюсами) или не менее чем в четырех — восьми точках (у машин неявнополюсных).

Чтобы получить надежные результаты, зазоры следует измерить при нескольких положениях ротора. Зная величину воздушных зазоров,

можно определить форму наружной поверхности неявнополюсной вращающейся части машины или равномерность посадки полюсов явнополюсных роторов. Для этого зазор измеряют в одной и той же точке статора при постепенном проворачивании вращающейся части. Измеряя зазор в одной и той же точке вращающейся части машины, определяют форму полюсов или расточки статора. При небольшой длине активной стали машины (до 300 *мм*) зазоры можно измерять с одной стороны, при большой длине — с обеих сторон. За величину зазора принимается толщина полоски или набора полосок щупа, которые входят в зазор с некоторым усилием.

Рис. V.1. Наборы щупов:

а — для измерения зазоров до 2 *мм*; *б* — клиновой для измерения зазоров 10—20 *мм*.

Поворачивание ротора

Ротор машины поворачивают для проверки его свободного вращения и наличия выбега. Для малых машин эту операцию осуществляют вручную, для больших — с помощью лома или крана. В последнем случае на вал наматывают несколько витков троса, один конец которого закреплен на валу и освобождается при раскручивании, а другой прикреплен к крюку крана. Такая проверка обязательна перед первым пуском машины или после длительной ее стоянки в условиях, когда в машину могли попасть посторонние предметы.

Проверка механических креплений

Крепление деталей машины, особенно на вращающейся части, проверяют при обнаружении вибрации или постороннего шума в машине. Затяжку болтов проверяют гаечным ключом, снабженным ограничителем прилагаемого усилия. Особое внимание должно быть обращено на предохранители от самоотвинчивания гаек и болтов на вращающейся части машины. Проверяют также плотность посадки катушек на полюсах и клиньев в пазах.

Измерение биения деталей ЭМ

Биение деталей вращающейся части машины (вала, сердечника, коллектора и др.) измеряют индикатором (рис. V.2), укрепленным на штативе так, что его наконечник упирается в исследуемую деталь вращающейся части. Ось наконечника должна являться как бы продолжением диаметра детали.

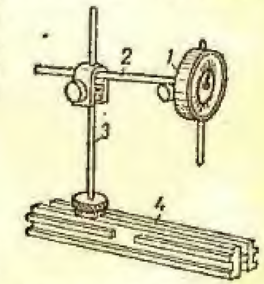


Рис. V.2. Внешний вид индикатора:

1 — индикатор; *2* — штанга; *3* — стойка; *4* — полозья.

Подвижной части машины сообщается медленное вращение, разность между максимальным и минимальным показаниями индикатора определяет величину биения. При этом необходимо следить за равномерностью изменения показаний индикатора. Скачкообразные изменения, вызванные дефектами цилиндрической поверхности исследуемой детали, не должны учитываться при определении величины биения.

Испытание изоляции обмоток

Измерение сопротивления изоляции

Методика измерения сопротивления изоляции и технические характеристики мегомметров приведены в гл. III.

Сопротивление изоляции обмоток электрических машин напряжением до 1000 *в* измеряют с помощью мегомметра на напряжение 500—1000 *в*, а обмоток напряжением выше 1000 *в* — мегомметром 1000—2500 *в*.

Сопротивление изоляции обмоток ЭМ, имеющей шесть выводов, следует измерять пофазно; обмотки фаз, где сопротивление не измеряется, присоединяют к корпусу. Если напряжение машины не превышает 1000 *в*, величина сопротивления изоляции при приемо-сдаточных и профилактических испытаниях не нормируется.

Согласно ГОСТ 183-66, сопротивление изоляции обмоток ЭМ относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей температуре машины не должно быть ниже

$$R_{60} = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \quad [Мом], \qquad (V.1)$$

но при этом не менее 0,5 *Мом*.

В выражении (V.1) U — номинальное напряжение обмотки машины, *в*; P — номинальная мощность машины, *ква* (для машин постоянного тока, *квт*).

В случае измерения сопротивления изоляции при температуре ниже рабочей полученное из выражения (V.1) сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20° С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и температурой, при которой выполнено измерение.

Для вновь вводимых в эксплуатацию машин с номинальным напряжением выше 1000 *в* наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции нормируются «Инструкцией по определению возможности включения вращающихся машин переменного тока без сушки» (СН 241-63) (табл. V.1).

Таблица V.1

Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции R_{60}, одной фазы или ветви обмоток статоров ЭМ до 5000 *квт* при $U_{ном}$ до 10,5 *кв*

Температура обмотки, °С	R_{60}, *Мом*, при $U_{ном}$, *кв*		
	3—3,15	6—6,3	10—10,5
10	35	75	125
20	25	50	85
30	18	35	60
40	12	24	40
50	9	16	27
60	6	10	18
75	3	6	10

Температурная зависимость наименьшей допустимой величины сопротивления изоляции R_{60} обмоток электрических машин мощностью до 5000 *квт* приведена на рис. V.3.

Для электрических машин мощностью выше 5000 *квт*, а также для всех машин с номинальным напряжением выше 10,5 *кв* наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции одной фазы или ветви обмотки статора R_{60} при температуре 75° С должно определяться по выражению (V.1). При температурах ниже 75° С наименьшее допустимое

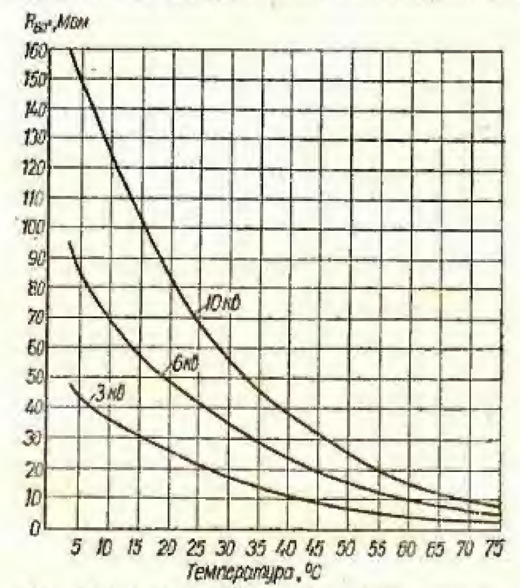


Рис. V.3. Зависимость наименьшей допустимой величины сопротивления изоляции R_{60} обмоток электрических машин мощностью до 5000 *квт* от температуры обмотки при измерении.

значение R_{60} определяется путем умножения величины сопротивления изоляции, вычисленной по выражению (V.1), на коэффициент K_T, значения которого для температур от +10 до +75° С таковы:

t, °С	75	70	60	50	40	30	20	10
K_T	1,0	1,2	1,8	2,6	3,9	5,5	8,5	12

Сопротивление изоляции обмоток роторов ЭМ при температуре +10° ÷ +30° С должно быть для генераторов и синхронных компенсаторов не менее — 0,5 *Мом*; для двигателей — не менее 0,2 *Мом*.

Допускается ввод в эксплуатацию неявнополюсных роторов синхронных машин, имеющих сопротивление изоляции не ниже 2000 *ом* при 75° С или 20 000 *ом* при 20° С. Сопротивление изоляции обмотки ротора электрических машин измеряется мегомметром 1000 *в*. У синхронных генераторов и компенсаторов можно проводить измерения мегомметром на напряжение 500 *в*.

По окончании измерения сопротивления изоляции для предотвращения возможности поражения персонала при прикосновении к выводам обмоток, согласно ГОСТу 11828-66, каждая обмотка соединяется с корпусом машины на время не менее 15 *сек* при мощности машины до 1000 *квт* и не менее 1 *мин* при более высокой мощности.

Определение возможности включения электрических машин переменного тока без сушки

Условия включения электрических машин без сушки, методика измерения и нормы для оценки состояния изоляции приведены в «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки» (СН241-63)

По условиям включения без сушки электрические машины условно разбиты на две группы: 1-я — электродвигатели мощностью до 5000 *квт* включительно, имеющие скорость вращения не более 1500 *об/мин*; 2-я — генераторы и синхронные компенсаторы, а также электродвигатели, не отнесенные к 1-й группе.

Вопрос о включении без сушки электрических машин должен решаться на основании результатов следующих испытаний изоляции.

а. Абсолютные значения сопротивления изоляции R_{60} обмоток, измеренные при температуре не ниже +10° С, должны быть не менее величин, указанных в табл. V.1 для данной температуры;

б. Значение коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15} (см. гл. III) при температуре 10—30° С должно быть для ЭМ 1-й группы не ниже 1,2, для ЭМ 2-й группы — не ниже 1,3.

в. Характеристика зависимости токов утечки через изоляцию обмотки от величины испытательного напряжения выпрямленного тока $i_{ут} = f\ (U_{исп})$ не должна иметь крутого изгиба.

Значение коэффициента нелинейности K_U должно быть не более 3.

Для машин 1-й группы включение без сушки допустимо при соблюдении либо условий а и б, либо а и в, либо б и в.

Если соблюдаются условия а и в, то величина коэффициента абсорбции должна быть не ниже 1,1 и коэффициента нелинейности — не более 1,2.

При выполнении условий б и в величина коэффициента нелинейности не должна превышать 1,2. Испытания по пункту в производятся только в том случае, если одно из условий пунктов а или б не выполнено.

Для двигателей, имеющих только три вывода обмотки статора, токи утечки не измеряют. В этих случаях обязательными условиями включения без сушки являются либо соблюдение одного условия а при величине R_{60} всех трех фаз для обмотки статора не менее приведенного в табл. V.1, либо комбинации а и б, но при величине R_{60}, уменьшенной в два раза по сравнению с указанной в табл. V.1.

Для машин 2-й группы при напряжении ниже 15, 75 *кв* достаточным для включения без сушки является соблюдение либо условий а и в, либо б и в. В первом случае обязательным условием является величина коэффициента абсорбции не менее 1,2 и коэффициента нелинейности не более 1,3.

Для машин 2-й группы напряжением 15,75 *кв* и выше и ЭМ с разъемным статором достаточным условием для включения без сушки является соблюдение всех трех условий (а, б и в).

Для генераторов с непосредственным водяным охлаждением токи утечки не измеряются.

Измерение коэффициента абсорбции и токов утечки с помощью кенотронного аппарата, как и измерение сопротивления изоляции, следует выполнять пофазно. При испытании изоляции какой либо фазы две другие должны быть соединены с корпусом машины.

Измерение токов утечки с помощью кенотронного аппарата для построения характеристики $i_{ут} = f(U_{исп})$ должно производиться не менее чем при пяти значениях испытательного напряжения равными ступенями в пределах от U_{min} до U_{max}. Величина U_{max} для машин 1-й группы принимается равной $2{,}5\,U_{ном}$, а для машин 2-й группы — в соответствии с табл. V. 2.

Таблица V.2

Значения U_{max} для машин 2-й группы

Мощность, *ква*	Номинальное напряжение, *в*	U_{max}, *в*
Менее 1000	Любое	$1{,}2\,(2U_{ном} + 1000)$
1000 и более	До 3300 (включительно)	$1{,}2\,(2U_{ном} + 1000)$
	3300—6600	$1{,}2 \cdot 2{,}5U_{ном}$
	Свыше 6600	$1{,}15\,(2U_{ном} + 3000)$

Величина U_{min} для машин 1-й группы принимается равной $0{,}5\,U_{ном}$, а для машин 2-й группы — не более $0{,}2\,U_{max}$. Рекомендуемая величина ступеней испытательного напряжения для машин 1-й группы — $0{,}5\,U_{ном}$ испытуемой машины.

На каждой ступени напряжение выдерживают в течение 1 *мин* и отсчитывают величину тока утечки через 15 и 60 *сек*. (Согласно ГОСТу 10169-62 ток утечки должен измеряться через каждые 15 *сек*.) Повышение напряжения до следующей ступени осуществляют без снятия напряжения с изоляции машины.

Коэффициент нелинейности $K_U = \frac{R_{U\min}}{R_{U\max}}$ определяется по 60-секундным величинам токов утечки $i_{U\min}$ и $i_{U\max}$ при испытательных напряжениях U_{min} и U_{max}

$$R_{U\min} = \frac{U_{min}}{i_{U\min}} \quad [Мом], \qquad R_{U\max} = \frac{U_{max}}{i_{U\max}} \quad [Мом]. \tag{V.2}$$

Если при неизменном испытательном напряжении ток утечки нарастает, то испытание следует прекратить. Возобновить его можно после устранения причин нарастания тока утечки при неизменном испытательном напряжении. Прекращать испытание необходимо, если в кривой зависимости токов утечки появится крутой изгиб или если токи утечки достигли следующих предельных величин:

Напряжение	$0{,}5U_{ном}$	$1{,}0U_{ном}$	$1{,}5U_{ном}$	$2{,}0U_{ном}$	$2{,}5U_{ном}$	$3{,}0U_{ном}$
Ток утечки, *мка*	250	500	1000	2000	3000	3500

При крутом изгибе кривой зависимости токов утечки от испытательного напряжения включение машины без сушки не допускается. Если кривая токов утечки не имеет крутого изгиба, но токи утечки превысили допустимую величину, а коэффициент нелинейности K_U не превышает 3, машину следует подвергнуть контрольному прогреву до температуры обмотки +75° С. Если величина сопротивления изоляции $R_{из}$ при этой температуре будет не ниже вычисленной по (V.1), то машину можно включить в эксплуатацию без сушки.

Для измерений токов утечки следует пользоваться измерительными приборами с точностью не ниже класса 1,5. Токи утечки самой испытательной схемы должны быть сведены к минимуму. Чтобы убедиться в том, что токов утечки в испытательной схеме нет, напряжение повышают до максимального при полностью собранной схеме до подсоединения обмоток машины.

Изоляция обмоток статоров электрических машин перед включением в эксплуатацию должна быть испытана повышенным напряжением переменного тока по действующим нормам. Испытание изоляции максимальным напряжением выпрямленного тока U_{max} при снятии зависимости токов утечки считается одновременно и испытанием изоляции на электрическую прочность повышенным напряжением выпрямленного тока.

Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением

Методика и аппаратура для испытаний изоляции повышенным напряжением описаны в гл. III и IV. Величины испытательных напряжений при приемо-сдаточных и профилактических испытаниях изоляции приведены в последующих разделах справочника. Испытание повышенным напряжением изоляции обмоток машин, имеющих шесть выводов, осуществляется пофазно. При испытании изоляции какой-либо фазы две другие соединяют с корпусом.

В ГОСТе 11828-66 содержится требование, чтобы испытательное напряжение измеряли непосредственно у объекта испытания, т. е. в цепи вторичного (трансформированного) напряжения, а не путем пересчета напряжения, подводимого к испытательному трансформатору, в соответствии с его коэффициентом трансформации.

ГОСТ 11828-66 рекомендует при испытаниях обмоток с номинальным напряжением 6000 *в* и выше машин мощностью более 2000 *квт* включать параллельно испытуемой обмотке шаровой разрядник с пробивным напряжением на 10% выше испытательного.

Изоляция считается выдержавшей испытание, если не произошло ее пробоя; явление короны или поверхностные скользящие разряды при этом не принимаются во внимание. С поверхностными разрядами не следует смешивать пробой по поверхности, сопровождающийся, в отличие от первых, повреждением наружных слоев изоляции и резким понижением их сопротивления.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Цель таких измерений — выявление дефектов (некачественных соединений, витковых замыканий), ошибок в схеме соединений, а также уточнение параметров, используемых при расчетах и наладке режимов,

регуляторов и др. Измерения, особенно у крупных машин, следует выполнять с особой тщательностью и высокой точностью. Методика измерений изложена в гл. II.

Сопротивление измеряют либо с помощью амперметра и вольтметра, либо двойным мостом. Если сопротивление больше 1 *ом*, то необходимая точность измерений достигается одинарным мостом.

У машин, имеющих только три вывода обмотки статора (соединение обмоток в звезду или треугольник выполнено внутри машины), сопротивление постоянному току измеряют между выводами попарно. Сопротивления отдельных фаз в этом случае определяются из следующих выражений:

для соединения в звезду

$$R_1 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{1,3} - R_{2,3}) \ [ом], \tag{V.3}$$

$$R_2 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}) \ [ом], \tag{V.4}$$

$$R_3 = \frac{1}{2}(R_{1,3} + R_{2,3} - R_{1,2}) \ [ом]; \tag{V.5}$$

при одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{R_{1,2}}{2} \ [ом]; \tag{V.6}$$

если обмотки соединены в треугольник,

$$R_1 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{2,3}R_{1,3}}{-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3}} - (-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3})\right] [ом], \tag{V.7}$$

$$R_2 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{1,3}R_{1,2}}{R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3}} - (R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3})\right] [ом], \tag{V.8}$$

$$R_3 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{1,2}R_{2,3}}{R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}} - (R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3})\right] [ом]; \tag{V.9}$$

при одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{3}{2}R_{1,2} \ [ом]. \tag{V.10}$$

При измерении сопротивления особое значение имеет правильное определение температуры обмотки. Для измерения температуры применяют как заложенные температурные индикаторы, так и встраиваемые термометры и температурные индикаторы; последние должны быть введены не позднее, чем за 15 *мин* до начала измерения сопротивления.

Согласно ГОСТу 11828-66 для измерения температуры обмоток машин мощностью до 10 *квт* устанавливают один термометр или температурный индикатор; для машин мощностью до 100 *квт* — не менее двух; для машин мощностью от 100 до 1000 *квт* — не менее трех; для машин свыше 1000 *квт* — не менее четырех. За температуру обмоток принимается среднее арифметическое из измеренных значений.

При измерении сопротивлений обмоток в практически холодном состоянии температура обмоток не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на $\pm 3°$ С.

Если невозможно непосредственно измерить температуру обмоток, машина должна находиться в данной окружающей среде в нерабочем состоянии до измерения сопротивления обмоток в течение времени, достаточного для того, чтобы все части машины практически приняли температуру окружающей среды. Изменение температуры окружающей среды за это время не должно быть более $\pm 5°$ С. За температуру обмоток при этом принимают температуру окружающей среды в момент измерения сопротивлений.

Измерение сопротивления повторяют несколько раз.

Согласно ГОСТу 11828-66 измерения с помощью амперметра и вольтметра выполняют три раза при различных значениях тока; при применении мостовых схем следует нарушать перед каждым измерением равновесие моста. Результаты измерений одного и того же сопротивления не должны отличаться от среднего более чем на $\pm 0{,}5\%$, за действительное сопротивление принимается среднее арифметическое из результатов всех измерений, удовлетворяющих этому требованию.

Результаты измерений по отдельным фазам сравниваются между собой, а также с результатами предыдущих (в том числе заводских) измерений. Величины допустимых расхождений, регламентируемые нормами, приводятся в последующих разделах справочника. Для сравнения результатов измерений, проведенных при различных температурах обмоток, измеренные величины приводят к одной температуре (обычно к 15 или 20° С) по выражению (II.34).

Пуск двигателя

Первый пробный пуск электродвигателя производится после окончания испытаний двигателя при их положительных результатах.

Для пуска двигателя должно быть получено разрешение от организации, выполнявшей монтаж и ревизию двигателя, а при пуске двигателя с механизмом — также от организации, ведущей монтаж механизма. Пуск двигателя вхолостую или с незагруженным механизмом должен быть тщательно подготовлен и проведен с максимальной осторожностью.

Перед подачей на двигатель рабочего напряжения необходимо убедиться в том, что в машине нет посторонних предметов, проверить состояние подшипников и масла в них, надежность заземления корпуса двигателя. Защиты двигателя должны быть испытаны и введены с минимальными по условиям пуска уставками. Перед первым пробным пуском следует вручную с помощью лома или крана провернуть ротор двигателя и проверить его свободный ход. Необходимо также предусмотреть аварийное снятие напряжения в случае отказа схемы управления.

В пуске должны принимать участие представители монтажных и эксплуатационной организаций. Предварительно перед пуском следует расставить наблюдающих за работой двигателя и механизма, четко определив их обязанности.

Первое включение двигателя длится 1—2 *сек*. Проверяется направление вращения, состояние ходовой части, действие отключающих устройств. При удовлетворительных результатах первого пуска осуществляется кратковременное включение и разгон двигателя до полной скорости. При этом следят за током нагрузки, коммутацией щеток, определяют по звуку, не задевают ли вращающиеся части неподвижные, нет ли вибрации, убеждаются в правильности работы смазки подшипников. Во всех случаях сигнала о неисправностях при всех пробных

пусках двигатель отключается немедленно, без предупреждения. При удовлетворительных результатах пробных пусков включают двигатель на более продолжительное время на обкатку. Проверяют нагрев подшипников, обмотки, железа двигателя.

При пробных пусках двигателей-генераторов цепь обмотки возбуждения генератора следует разомкнуть.

Определение характеристики холостого хода

Характеристикой холостого хода (х. х. х.) называют зависимость напряжения на выводах ненагруженного якоря $U_я$ от тока в обмотке возбуждения $I_в$ при вращении машины с постоянной скоростью n (обычно номинальной) в генераторном режиме, т. е. $U_я = f(I_в)$ при $I_я = 0$ и $n = \text{const} = n_{ном}$.

Х. х. х. являются кривыми намагничивания МПТ и СМ. Их используют для сравнения формы кривой, полученной опытным путем, с расчетной, выявления витковых замыканий и прочих отклонений в обмотках возбуждения, получения необходимых данных для определения основных параметров машин и др.

В процессе снятия х. х. х., как правило, испытывают междувитковую изоляцию якорных обмоток. Допускается снятие х. х. х. при скорости вращения машины n, не равной номинальной; при этом для получения действительной характеристики напряжение рассчитывают по формуле

$$U_д = U_о \frac{n_{ном}}{n}, \qquad (V.11)$$

где $U_д$ и $U_о$ — напряжение соответственно действительной характеристики и характеристики, снятой при опыте.

Ток возбуждения изменяют с помощью регулировочного реостата в цепи обмотки возбуждения испытуемой машины или ее возбудителя. Изменять ток нужно плавно, небольшими ступенями и только в одном направлении — либо увеличивать, либо уменьшать, иначе вследствие влияния гистерезиса характеристика окажется искаженной. Измерения производят вольтметром и амперметром (с шунтом) класса не менее 0,5. Шунт врезают в такой точке цепи возбуждения, чтобы результаты измерения не были искажены токами параллельных цепей. Отсчет осуществляется одновременно по обоим приборам при установившихся показаниях. Для измерения величины остаточного напряжения цепь возбуждения разрывают.

При построении характеристики отношение масштабов напряжения и тока должно быть примерно 2 : 1. Х. х. х. часто строят в относительных единицах; за единицу напряжения принимают номинальное его значение, а за единицу тока возбуждения — величину, соответствующую номинальному напряжению при холостом ходе.

Испытание электрических машин на нагрев

Целью испытания ЭМ на нагрев является определение допустимых или установление номинальных нагрузок рабочих обмоток и сердечников для обеспечения нормальных условий работы изоляции.

Таблица V.3

Нагревостойкость электроизоляционных материалов

Характеристика изоляционного материала	Температура, характеризующая нагревостойкость, °С	Обозначение класса изоляции *	
		Старое обозначение	По ГОСТу 8865-58
Не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, а также соответствующие этому классу другие материалы и сочетания материалов	90	O	Y
Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы или шелка, а также соответствующие этому классу другие материалы и сочетания материалов	105	A	A
Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие этому классу другие материалы	120	AB	E
Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	130	B	B
Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	155	BC	F
Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	180	CB	H

Характеристика изоляционного материала	Температура, характеризующая нагревостойкость, °С	Обозначение класса изоляции *	
		Старое обозначение	По ГОСТу 8865-58
Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементоорганическими связующими составами, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания.	> 180	C	C

* Согласно ГОСТу 8865-58, нагревостойкостью электроизоляционного материала называется способность материала выполнять свои функции при воздействии рабочей температуры в течение времени, сравнимого с расчетным сроком нормальной эксплуатации электрооборудования.

Изоляция обмоток представляет собой наиболее уязвимую в смысле нагрева часть ЭМ, поскольку обмотки, выполненные из меди или алюминия, и сердечники, выполненные из железа, допускают значительно более высокие температуры. Повышение температуры изоляции сверх допустимой если и не приводит к быстрому ее разрушению и пробою, то ускоряет старение и сокращает срок ее службы (табл. V.3).

При испытаниях на нагрев измеряют температуру всех активных частей ЭМ и охлаждающей среды, а также токи и напряжения обмоток.

Измерение температуры

ГОСТы 183-66 и 11828-66 предусматривают для определения температуры ЭМ четыре способа: с помощью термометра, косвенно по изменению сопротивления, по заложенным и по встраиваемым температурным индикаторам.

Измерение температуры с помощью термометра дает представление о нагреве той точки, где приложен термометр. Как правило, это наименее нагретая часть машины, находящаяся на поверхности, а потому удобная для измерения. Используются термометры расширения (ртутные, спиртовые), а также незаложенные термопары и термометры сопротивления.

Баллончик термометра расширения, горячий спай термопары или термометр сопротивления прикладывают к нужной точке машины и изолируют от окружающей среды теплоизоляционным материалом (ватой и т. п.). Отсчет производят с учетом инерционности термометра.

С помощью термометров обычно измеряют температуру охлаждающей среды. При этом, если для вентиляции машины служит окружающий воздух, термометры устанавливают в нескольких точках вокруг машины на расстоянии 1—2 *м* на уровне оси машины. Когда машина оборудована воздуховодами горячего и холодного воздуха (или газа), температуру измеряют несколькими термометрами, устанавливаемыми возле всех входных и выходных патрубков машины. Так как температуру входящего в машину охлаждающего воздуха следует измерять особенно тщательно, применяемые для этой цели термометры должны быть с ценой деления 0,1—0,2° С. Устанавливаемые у входа и выхода из машины охлаждающего воздуха (газа) термометры должны быть хорошо уплотнены во избежание утечек воздуха.

Согласно ГОСТу 11828-66, за температуру охлаждающего воздуха во время испытаний принимают среднее арифметическое показаний всех термометров, взятых через произвольные равные промежутки времени в течение последнего часа испытания машины на нагревание.

Следует отметить, что применение ртутных термометров в местах, где имеются переменные магнитные поля, не желательно, так как возможны существенные ошибки измерения.

Определение температуры по изменению сопротивления основано на том, что существует строгая зависимость между сопротивлением проводника, измеренным на постоянном токе, и его средней температурой (гл. II).

Температура проводника (обмотки) при известном сопротивлении его в горячем и практически холодном состоянии может быть определена из выражения (II.57), где для алюминиевых проводов вместо постоянной 235 принимается постоянная 245.

Этим способом можно определить среднюю температуру проводников обмотки и, в большинстве случаев, получить более полную картину ее нагрева. Для обмоток постоянного тока как неподвижных, так и вращающихся, этот способ применяют при измерении температуры работающей машины. Для обмоток переменного тока пользоваться методом можно только после снятия с них переменного напряжения. В холодном и горячем состояниях сопротивление обмотки необходимо измерять одними и теми же приборами, так как это дает требуемую точность определения температуры.

Если сопротивление обмоток переменного тока измеряют после снятия напряжения, но без остановки машины, для устранения влияния остаточных переменных напряжений применяют устройства размагничивания, индуктивно-емкостные фильтры и измерительные приборы магнитоэлектрической системы.

Заложенные температурные индикаторы (термопары или термометры сопротивления) предусматриваются ГОСТами и техническими условиями при изготовлении ЭМ некоторых типов и габаритов (турбо- и гидрогенераторов, синхронных компенсаторов, крупных АД и др.). С их помощью осуществляется контроль за нагревом машины в процессе ее эксплуатации. Температурные индикаторы закладывают в таких точках машины, где ожидается наибольший нагрев обмоток и активной стали. Эти точки обычно недоступны для осмотра после изготовления машины.

Согласно ГОСТу 183-66, в машину закладывают не меньше шести индикаторов: три для измерения обмотки и три для измерения температуры активной стали. Индикаторы, расположенные равномерно по окружности машины, должны соприкасаться с измеряемой поверхностью и быть надежно защищены от воздействия охлаждающей среды.

Если в качестве индикаторов применены термопары, все отмеченное выше относится к их горячим спаям; холодные спаи термопар располагают в месте входа в машину холодного воздуха (газа). Измеряемая э. д. с. пропорциональна превышению температуры обмотки или стали машины над температурой воздуха.

Для контроля за нагревом машины в процессе эксплуатации применяют либо милливольтметры (с термопарами), либо логометры (с термометрами сопротивления). При испытаниях на нагрев для получения точных данных измерений в первом случае используют переносные потенциометры или образцовые милливольтмеры во втором — лабораторные одинарные мосты.

Таблица V.4

Классы изоляционных материалов (по ГОСТу 8865-58)

Части ЭМ	A			E			B			F			H		
	Предельные допускаемые превышения температуры, °С, определенные														
	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	С помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу
1. Обмотки переменного тока машин мощностью 5000 *ква* и выше с длиной сердечника 1 *м* и более	—	60	60	—	70	70	—	80	80	—	100	100	—	125	125
2. Обмотки: переменного тока машин мощностью менее 5000 *ква* или с длиной сердечника менее 1 *м*; возбуждения машин постоянного и переменного тока с возбуждением постоянным током, кроме указанных в подпунктах 3, 4, 5 настоящей таблицы; якорные, соединенные с коллектором	50	60	—	65	75	—	70	80	—	85	100	—	105	125	—
3. Обмотки возбуждения неявнополюсных машин с возбуждением постоянным током	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	—	—
4. Обмотки: возбуждения однорядные с оголенными поверхностями; роторов асинхронных машин стержневые	65	65	—	80	80	—	90	90	—	110	110	—	135	135	—
5. Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев, и компенсационные обмотки	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
6. Изолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
7. Неизолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	Превышение температуры этих частей не должно достигать значений, которые создавали бы опасность повреждения изоляционных или смежных с ними материалов														
8. Сердечники и другие стальные части, не соприкасающиеся с обмотками															
9. Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с обмотками	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
10. Коллекторы и контактные кольца, незащищенные и защищенные	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

В некоторых случаях при отсутствии данных о характеристике заложенных термопар их можно получить с помощью термостата и переносного потенциометра, исследуя извлеченный из машины небольшой кусок термопары.

При использовании встраиваемых температурных индикаторов в отличие от предыдущего способа индикаторы устанавливают на машине после ее изготовления только на время проведения испытания.

На обмотках температурные индикаторы встраивают в лобовые или пазовые части в доступных точках, в которых ожидаются наибольшие температуры. В лобовых частях проволочных обмоток индикатор может быть встроен между проводами при условии, что напряжение по отношению к корпусу в данной точке невелико. Чаще всего выбирают точку, близкую к нулевой, которую заземляют наглухо или через пробивной предохранитель. У машин с жесткими или запеченными секциями температурные индикаторы устанавливают у поверхности изоляции на лобовой части или под клином в пазу. В активной стали индикаторы встраивают между отдельными листами на глубине не менее 5 *мм*. Чтобы не повредить изоляцию, листы осторожно разводят ножом или отверткой, вводя между ними индикатор. После удаления ножа индикатор оказывается зажатым. Встраиваемый индикатор надежно укрепляют шпагатом или киперной лентой и изолируют на всем протяжении в наиболее опасных местах. Место измерения температуры, кроме того, покрывают тепловой изоляцией.

Определение превышения температуры частей машины

Количество тепла, выделяемого во время работы при номинальной нагрузке ЭМ, определяют по формуле

$$Q = 1005{,}6\left(\frac{P_{ном}}{\eta} - P_{ном}\right)\ [дж/сек], \qquad (V.12)$$

где 1005,6 — эквивалент тепла; $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, *квт;* η — к. п. д. машины.

ГОСТ 183-66, а также ГОСТы на отдельные виды ЭМ устанавливают предельно допустимое превышение температуры частей машин по сравнению с температурой охлаждающей среды. Под превышением температуры какой-либо части электрической машины по сравнению с температурой охлаждающей среды $t_{ох}$ понимают

$$\nu = t_м - t_{ох}, \qquad (V.13)$$

где $t_м$ — температура данной части ЭМ, измеренная одним из приведенных выше методов.

Предельные допускаемые превышения температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды +40° С и высоте над уровнем моря не более 1000 *м*, если они не указаны в стандартах на отдельные типы машин, не должны превосходить величин, приведенных в табл. V.4 (ГОСТ 183-66).

Для обмоток машин переменного тока на номинальное напряжение выше 11 000 *в* предельные допускаемые превышения температуры должны быть снижены на каждые 1000 *в* (полные и неполные) сверх 11 000 *в* на 1,5° С при измерении термометром и на 1,0° С при измерении температурным индикатором. Для турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток на номинальные напряжения 11 000—17 000 *в* предельные допускаемые превышения температуры должны быть снижены на каждые 1000 *в* (полные и неполные) сверх 11 000 *в* на 1° С, а сверх 17000 *в* — соответственно на 0,5° С. Для турбогенераторов с непосредственным охлаждением обмоток поправки в превышение температуры не вносят.

Указанный в п. 10 табл. V.4 класс изоляционного материала относится к изоляции коллектора или контактных колец или же к изоляции присоединенных к ним обмоток, если класс изоляции последних ниже класса изоляции коллектора или контактных колец.

Основным методом измерения превышения температуры обмоток, за исключением обмоток, указанных в п. 1 табл. V.4, является метод сопротивления. Измерение термометром допускается только в тех случаях, когда метод сопротивления по каким-либо причинам не может быть применен. Предельные допускаемые превышения температуры для этих случаев указаны в табл. V.4. Если в дополнение к значениям, полученным по сопротивлению, желательно контролировать температуру термометром, то превышения температуры, измеренные в наиболее нагретой доступной точке, не должны превосходить:

для изоляции класса *A* — 65° С
» » » *E* — 80° С
» » » *B* — 90° С
» » » *F* — 110° С
» » » *H* — 135° С

Предельная допускаемая температура согласно ГОСТу 183-66 составляет для подшипников скольжения +80° С, для масла в них +65° С и для нормальных подшипников качения +100° С.

Пользуясь понятием «превышение температуры», можно сравнивать результаты, полученные при разных значениях температуры охлаждающей среды.

Предельно допустимое превышение температуры $\nu_д$ ЭМ при отклонении температуры охлаждающей среды от 40° С, согласно ГОСТу 183-66, изменяется следующим образом.

1. При температуре газообразной охлаждающей среды менее 40° С величина $\nu_д$ может быть увеличена соответственно разности между температурой охлаждающей среды и температурой +40° С, но не более чем на 10° С. Исключение составляют турбо- и гидрогенераторы, а также синхронные компенсаторы, для которых эти величины указываются в стандартах.

2. При температуре охлаждающей среды, превышающей 40° С (но не более 50° С), на каждые 5° С (в том числе и неполные) свыше 40° С величина $\nu_д$ снижается на 5° С.

В некоторых случаях при испытаниях на нагрев, кроме превышения температуры частей ЭМ, измеряют превышение температуры выходящего из машины охлаждающего воздуха по сравнению с входящим. Это дает возможность определить к. п. д. машины при нагрузке данного опыта и судить о ее тепловом состоянии, хотя эти превышения не нормируются. Для СМ величина превышения обычно составляет не больше 30° С. Превышение температуры выходящего из машины воздуха используют при проверочных расчетах вентиляции машины.

Испытание машин, предназначенных для продолжительной работы в номинальном режиме

При испытании на нагрев таких машин проводят несколько опытов (обычно четыре) при нагрузках, близких к 60; 75; 90 и 100% номинальной. Если на основании результатов опытов возникает предположение,

что номинальная мощность машины может быть повышена, то проводят дополнительные опыты при больших нагрузках. Измерения, принимаемые за основу при подсчете превышения температуры, производят при установившемся электрическом и тепловом режиме машины. Под практически установившейся температурой понимают температуру какой-либо части машины, изменение которой в течение 1 ч не превышает 1° С при условии, что нагрузка машины и температура охлаждающей среды остаются неизменными (ГОСТ 183-66).

Для обеспечения установившегося электрического режима необходимо тщательно следить за напряжением и током якоря и скоростью вращения машины и достаточно быстро устранять появляющиеся отклонения, воздействуя на источник напряжения (для двигателей), первичный двигатель (для генераторов) и возбуждение. В случае необходимости автоматические регуляторы машин должны быть отключены на время проведения испытаний.

Постоянство температуры охлаждающей среды может быть обеспечено регулированием ее охлаждения (для машин с замкнутой системой вентиляции), устранением беспорядочного обмена воздуха в помещении, где установлена машина, выбором соответствующего времени суток для проведения испытаний и т. п.

Когда режим работы машины установлен, записывают значение токов и напряжений всех обмоток, а также значения температуры, которая может быть измерена без снятия напряжения с машины. Запись проводят в течение часа с интервалом в полчаса (или 15 *мин*). Затем с обмоток машины снимают напряжение и, если невозможно осуществить необходимые измерения или если это не требует больших затрат времени, машину останавливают. После этого измеряют температуру тех частей машины, которые не могли быть проверены в процессе опыта.

В случае, когда температура измерена через 15—20 *сек* после снятия тока и напряжения, результаты измерений принимают за фактическую температуру частей машины, в противном случае вносят поправку.

Для этого температура обмотки измеряется не менее трех раз, по возможности через одинаковые интервалы времени, продолжительность каждого из которых не должна превышать время, прошедшее от момента отключения машины до момента первого измерения. Это время должно быть не больше 1 *мин* для машин мощностью до 10 *квт* включительно, 1 *мин* 30 *сек* — для машин мощностью 10—100 *квт* включительно и 2 *мин* — для машин мощностью свыше 100 *квт*. По полученным данным находят зависимость $\lg \nu = f(t)$.

Затем путем экстраполяции определяют превышение температуры в момент начала снятия тока и напряжения (рис. V.4). Применение логарифмической зависимости упрощает построение и экстраполяцию кривой, поскольку последняя в этом случае прямолинейна.

Для быстрого измерения температуры нескольких частей машины после отключения или остановки ее требуются определенные навыки и достаточное количество работников, занятых измерениями.

После обработки результатов измерений всех опытов строят кривые зависимости превышения температуры обмоток ротора *1* и статора *2* (и их сердечников) от квадрата тока в них (рис. V.5). Эти кривые дают возможность проверить правильность полученных результатов по характеру распределения точек на кривой, определить ток, соответствующий предельно допустимому превышению температуры, и путем экстраполяции предопределить допустимое превышение номинальной мощности машины, если оно возможно.

Машины, предназначенные для продолжительного режима работы, чаще всего испытывают на нагрев при непосредственной их нагрузке.

Генераторы нагружают либо на общую сеть параллельно с другими генераторами, либо на отдельную регулируемую нагрузку (типа водяного реостата), либо на то и другое вместе.

Длительность испытания на нагревание в продолжительном режиме работы, если оно начато от холодного состояния машины, при прочих равных условиях зависит от номинальной мощности и от интенсивности охлаждения машины.

В отдельных случаях применяют искусственную нагрузку типа взаимной, когда испытуемый генератор нагружают машиной такой же или большей мощности с потреблением ими небольшой мощности, иду-

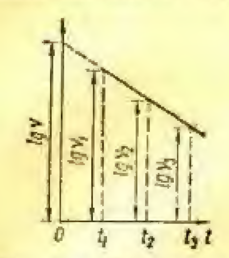


Рис. V.4. Экстраполяция превышения температуры ν на момент отключения.

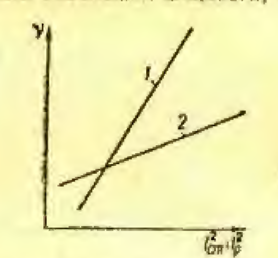


Рис. V.5. Примерный вид кривых зависимостей $\nu = f(I^2)$: $I_{ст}$ — ток статора; $I_р$ — ток ротора.

щей на покрытие потерь. Непосредственная нагрузка двигателей затруднена, поскольку, как правило, ее сложно поддерживать постоянной, и двигатели чаще всего подвергают испытанию на нагрев в генераторном режиме.

Иногда применяют косвенный метод испытаний на нагрев, при котором машину нагревают в нескольких режимах холостого хода и короткого замыкания, а температуру отдельных ее частей рассчитывают по результатам этих испытаний.

Испытание машин, предназначенных для кратковременного и повторно-кратковременного режима работы

Рассмотрим машину, режим работы которой характеризуется настолько малым временем включения, что части машины не нагреваются до установившейся температуры, и настолько длительными остановками, что машина успевает практически полностью охладиться. В этом случае испытание проводят в течение времени, которое указано на заводском щитке. Нормальная длительность кратковременного номинального режима (устанавливаемая ГОСТом 183-66) составляет 10; 30; 60 и 90 *мин*. В начале испытания машина должна находиться в холодном состоянии. Нагрузку необходимо поддерживать неизменной с помощью устройств, позволяющих быстро и плавно ликвидировать отклонения от заданного режима. Температуру измеряют в конце рабочего периода, однако и процессе испытаний желательно ее контролировать.

Под повторно-кратковременным номинальным режимом работы ЭМ понимается такой режим, при котором кратковременная работа машин чередуется с кратковременными отключениями, так что ни при

работе, но при отключении не достигаются установившиеся значения температур частей машины. Отношение длительности работы машины к длительности полного цикла называют продолжительностью включения (ПВ). ПВ может составлять 15; 25; 40 и 60% (согласно ГОСТу 183-66). Продолжительность одного цикла не превышает 10 *мин*.

Машины испытывают на нагрев в режиме повторно-кратковременной нагрузки с постоянной ее величиной в рабочем периоде и с ПВ, указанным на паспортном щитке машины. Длительность цикла при испытаниях устанавливают равной 10 *мин*. Температура частей машины, контролируемая в конце рабочего периода и паузы, считается практически повторяющейся, если в течение часа соответствующие температуры не будут отличаться друг от друга более чем на 2° С. Во время пауз машину отключают от сети. Однако она может продолжать вращаться (в случае генераторов), и возбуждение может оставаться включенным, если предусмотрен такой режим работы.

Температуру измеряют после установления практически повторяющейся температуры частей машины по истечении половины времени последнего периода работы. Для ускорения нагрева первые несколько циклов работы можно проводить без пауз.

В некоторых случаях испытание на нагрев при повторно-кратковременном режиме работы можно заменить испытанием при эквивалентном по нагреву продолжительном режиме.

Предельно допустимое превышение температуры частей машин с кратковременным номинальным режимом работы выше соответствующих значений машин с продолжительным режимом на 10° С. У машин с повторно-кратковременным номинальным режимом работы допустимое превышение температуры такое же, как у машин с продолжительным номинальным режимом.

Определение потерь и к. п. д. электрических машин

Потери мощности и к. п. д. ЭМ определяют при типовых испытаниях на заводе-изготовителе (ГОСТ 183-66). В программу приемо-сдаточных и профилактических испытаний не входит определение потерь мощности и к. п. д.; на месте установки такие испытания проводят редко. Их обычно осуществляют при послеремонтных испытаниях машин, а также при испытаниях, связанных с определением технико-экономических показателей установки в целом.

К. п. д. ЭМ называют отношение полезной активной мощности P_2, отдаваемой ею, к мощности, подводимой (потребляемой) P_1, а потерями мощности $\Sigma\Delta P$ — разность этих величин, т. е.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_1 - \Sigma\Delta P}{P_1} \quad 100\ [\%]; \qquad (V.14)$$

$$\Sigma\Delta P = P_1 - P_2. \qquad (V.15)$$

Сложность определения к. п. д. заключается в том, что механическая мощность, подводимая к генератору и отдаваемая двигателем, практически не поддается точному измерению.

На испытательной станции определяют к. п. д. машины, полностью исправной и обкатанной, а на месте установки—машины в обычном рабочем состоянии.

Непосредственное определение к. п. д.

Способы непосредственного определения к. п. д. обычно менее точны, чем косвенные. Они применяются при заводских испытаниях, если к. п. д. не более 70%, однако с успехом используются при испытаниях ЭМ на месте их установки.

Способ определения к. п. д. путем измерения мощности заключается в том, что две одинаковые ЭМ, потери и к. п. д. которых равны, соединяют и приводят во вращение: одну—в режиме двигателя, другую — в режиме генератора.

Потребляемую двигателем $P_{1д}$ и отдаваемую генератором $P_{2г}$ мощности измеряют электрическими приборами. К. п. д. и потери одной машины определяют по формулам

$$\eta = \sqrt{\frac{P_{1д}}{P_{2г}}} \quad 100\ [\%]; \qquad (V.16)$$

$$\Sigma\Delta P = \frac{P_{1д} - P_{2г}}{2} \qquad (V.17)$$

на основании того, что общий к. п. д. двух последовательно соединенных машин равен произведению к. п. д. каждой из них.

С помощью специального тормозного устройства можно измерить вращающий момент на валу машины. Этот способ применяют при испытании ЭМ в режиме двигателя. Потребляемую мощность измеряют электрическими приборами, а отдаваемую определяют как величину, пропорциональную произведению скорости вращения на вращающий момент.

Определение к. п. д. методом нагрузки заключается в том, что подводимую к испытуемому генератору или отдаваемую испытуемым двигателем мощность измеряют электрическими приборами на тарированных вспомогательных ЭМ (двигателе или генераторе). При тарировке вспомогательных машин точно определяют их потери $\Delta P_т$ при всех нагрузках, что дает возможность учитывать их при определении к. п. д. и потерь испытуемых машин по формулам

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 - \Delta P_т} \quad 100\ [\%]; \qquad (V.18)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 - \Delta P_т. \qquad (V.19)$$

Косвенное определение к. п. д.

Один из таких способов — способ отдельных потерь. Общие потери электрической машины определяют как сумму следующих отдельно определенных или рассчитанных потерь: 1) в стали $\Delta P_{ст}$; 2) на трение в подшипниках и вентиляционных потерь (механических) $\Delta P_{мех}$; 3) основных в цепях рабочих обмоток машины $\Delta P_м$; 4) в переходных контактах щеток $\Delta P_щ$; 5) на возбуждение $\Delta P_{возб}$; 6) добавочных $\Delta P_д$. Таким образом,

$$\Sigma\Delta P = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_м + \Delta P_щ + \Delta P_{возб} + \Delta P_д. \qquad (V.20)$$

Способы определения отдельных потерь приведены в соответствующих главах. Кроме этих методов, при испытаниях на месте установки машин с развитой системой вентиляции, замкнутой или разомкнутой, удовлетворительные результаты могут быть получены при определении отдельных потерь по теплу, уносимому охлаждающим воздухом

(газом) и рассеиваемому корпусом, так как электрическая и механическая энергия, теряемая в ЭМ, превращаются в тепловую.

Количество уносимого тепла определяют с помощью термометров, установленных на входе в машину и выходе из нее охлаждающего воздуха (газа). Потери в машине при установившемся режиме

$$\Sigma\Delta P' = P_в + P_к, \qquad (V.21)$$

где $P_в$ — энергия, уносимая охлаждающим воздухом, причем

$$P_в = Qc\gamma\,(t_г - t_х)\,10^{-3}\ [квт], \qquad (V.22)$$

или

$$P_в \simeq 1{,}1Q\,(t_г - t_х)\ [квт]; \qquad (V.23)$$

$\Delta P_к$ — мощность, рассеиваемая корпусом машины,

$$P_к = \frac{S\,(t_к - t_0)}{100}\ [квт], \qquad (V.24)$$

где Q — расход охлаждающего воздуха, $м^3/сек$; c — теплоемкость воздуха, равная 10^3 *дж/кг · град*; γ — плотность воздуха при атмосферном давлении 760 *мм рт. ст.* и средней температуре воздуха 50° С, γ — 1,093 $кг/м^3$; S — поверхность корпуса, $м^2$; $t_г$ и $t_х$ — температура выходящего и входящего в машину охлаждающего воздуха, °С; $t_к$ и t_0 — температура корпуса и окружающего воздуха, °С.

Для определения отдельных потерь по этому методу проводят опыты в таких режимах работы машины: 1) холостого хода без возбуждения; 2) холостого хода с возбуждением, соответствующим номинальному напряжению якорной обмотки (номинальному результирующему потоку в стали); 3) короткого замыкания при номинальном токе якоря.

При этом поддерживается постоянная (номинальная) скорость вращения ротора, приборами класса 0,5 контролируется ток в обмотках и напряжение на выводах якоря, измеряется температура активных частей машины, охлаждающего воздуха и корпуса. Измерения, по которым определяют потери, должны проводиться при установившемся тепловом режиме машины через 2-3 *ч* после начала опыта. Превышение температуры активных частей обмоток и охлаждающего воздуха, измеренные через 15 *мин* (три-четыре измерения), не должны отличаться друг от друга более чем на 1°С. Если температура активных частей машины не может быть измерена в процессе проведения опыта, ее измеряют после снятия возбуждения или остановки машины. Величина, получаемая по формуле (V.21) по данным опыта холостого хода без возбуждения, представляет собой потери на вентиляцию, т. е.

$$\Delta P_{х.х} = \Delta P_{вент}. \qquad (V.24,а)$$

При опыте холостого хода с возбуждением измеряют сумму потерь на вентиляцию $\Delta P_{вент}$, в стали $\Delta P_{ст}$ и на возбуждение при данном режиме $\Delta P_{возб.х.х}$. Последние можно рассчитать из выражения

$$\Delta P_{возб.х.х} = I^2_{возб.х.х} R_{возб.t}, \qquad (V.25)$$

где $I_{возб.х.х}$ — ток возбуждения при опыте; $R_{возб.t}$ — сопротивление обмотки возбуждения, приведенное к температуре опыта.

Поэтому опыт дает возможность определить потери в стали (поскольку потери на вентиляцию определены из предыдущего опыта):

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{х.х.в} - \Delta P_{х.х} - \Delta P_{возб.х.х}. \qquad (V.26)$$

Наконец, опыт короткого замыкания позволяет измерить сумму потерь $\Delta P_{к.з}$ на вентиляцию $\Delta P_{вент}$, в обмотках возбуждения и якоря при опыте $\Delta P_{возб.к.з}$ и $\Delta P_{я.к.з}$ и добавочные потери в якоре $\Delta P_д$.

Рассчитав потери в обмотках возбуждения и якоря аналогично (V.25), получим

$$\Delta P_{возб.к.з} = I^2_{возб.к.з} R_{возб.t} 10^{-3}\ [квт]; \qquad (V.27)$$

$$\Delta P_{я.к.з} = nI^2_я R_{яt} 10^{-3}\ [квт], \qquad (V.28)$$

где n — число фаз якорной обмотки.

Добавочные потери в якоре

$$\Delta P_д = \Delta P_{к.з} - \Delta P_{возб.к.з} - \Delta P_{я.к.з} - \Delta P_{х.х}. \qquad (V.29)$$

Таким образом, опыты позволяют определить следующие потери: 1) вентиляционные, представляющие собой основную часть механических потерь (для определения последних, как правило, достаточно учесть потери в подшипниках, обычно принимаемые равными 0,5—0,6% мощности машины или определяемые по нагреву масла); 2) в стали; 3) добавочные.

Основные потери в рабочих обмотках машин, включая и потери в обмотках возбуждения,

$$\Delta P_{обм} = nI^2_{ном} R_{обм.t} 10^{-3}\ [квт], \qquad (V.30)$$

где n — число фаз (иногда ветвей) обмотки; $I_{ном}$ — номинальный ток обмотки (если потери определяют не для номинального режима, то подставляют соответствующее значение тока); $R_{обм.t}$ — сопротивление обмотки, приведенное к температуре ее при номинальном режиме.

Потери в щетках при номинальном токе соответствующей обмотки определяют как произведение тока на падение напряжения на щетках. Температура щеток должна быть близкой к нормальной.

Этот способ может быть применен и для непосредственного определения потерь и к. п. д. при работе ЭМ в номинальном и других режимах. Потери, определенные по выражению (V.21), сложенные с потерями в подшипниках, и в этом случае будут равны потерям при соответствующем режиме.

Согласно ГОСТу 11828-66 к потерям электрической машины относят также 1) потери в регулировочных реостатах, в постоянно включенных нерегулируемых сопротивлениях, в реактивных катушках и тому подобных вспомогательных приборах и аппаратах, необходимых для работы машины в номинальном режиме; 2) потери в возбудителе, подвозбудителе, пусковом электродвигателе и других вспомогательных электромашинах, если они приводятся в движение от вала испытуемой машины; в) потери во всех подшипниках, поставляемых с машиной; г) потери в вентиляторе, в водяном и масляном насосах, если они приводятся во вращение от вала испытуемой машины.

Измерение вибрации

Величина вибрации измеряется на всех подшипниках ЭМ. Вибрацию принято измерять в горизонтально-поперечном (перпендикулярно оси вала), горизонтально-осевом и вертикальном направлениях. Измерения в двух первых направлениях производятся на уровне оси вала, а в вертикальном направлении — в наивысшей точке крышки подшипника.

Пример установки виброметра для измерения горизонтально-поперечной вибрации дан на рис. V.6.

Штифт виброметра устанавливается в том направлении, в котором измеряется вибрация.

Приборы для измерения вибрации рассмотрены в гл. II. Величины допустимых вибраций приведены в соответствующих главах справочника.

Повышенная вибрация ЭМ может быть вызвана причинами электромагнитного или механического характера.

К электромагнитным причинам относят: 1) витковые замыкания или двойные замыкания на корпус в обмотках постоянного тока ЭМ; 2) неправильное выполнение соединений отдельных частей или фаз обмоток; 3) короткое замыкание междувитковое или междуфазное в роторных обмотках АМ; 4) обрыв одной или нескольких параллельных ветвей обмотки; 5) неравномерный (сверх нормы) воздушный зазор между ротором и статором вследствие неправильной установки частей машины или деформации активной стали; 6) недостаточную жесткость корпуса статора, вследствие чего активная сталь якоря притягивается к полюсам индуктора и вибрирует с частотой, равной двойной частоте вращения; 7) неудачное соотношение чисел зубцов статора и ротора.

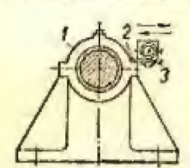


Рис. V.6. Установка виброметра на подшипнике при измерении горизонтально-поперечной вибрации:
1 — подшипник; 2 — крепежная пластинка; 3 — виброметр.

Причины механического характера: 1) неправильная центровка агрегата, состоящего из нескольких машин; 2) неуравновешенность некоторых вращающихся частей; 3) ослабление крепления или посадки вращающихся частей; 4) неисправности в соединительной муфте (перекос или биение полумуфт, износ пальцев или других частей); 5) искривление вала; 6) появление овальности шеек вала; 7) нарушение требуемого зазора между шейками вала и вкладышами подшипников (в табл. V.5 даны предельные величины зазоров в подшипниках скольжения);

Таблица V.5

Предельные зазоры в подшипниках скольжения

Номинальный диаметр вала, *мм*	Зазоры, *мм*, при скорости вращения, *об/мин*		
	< 1000	1000—1500	> 1500
18—30	0,04—0,093	0,06—0,13	0,14—0,28
30—50	0,05—0,112	0,075—0,16	0,17—0,34
50—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,2—0,4
80—120	0,08—0,16	0,12—0,235	0,23—0,46
120—180	0,1—0,195	0,15—0,285	0,26—0,53
180—260	0,12—0,255	0,18—0,30	0,3—0,6
260—360	0,14—0,25	0,21—0,38	0,34—0,68
360—500	0,17—0,305	0,25—0,44	0,38—0,76

8) низкая температура масла, входящего в подшипник при принудительной смазке; 9) слабое закрепление машины на фундаменте; 10) лабиринтовые уплотнения подшипников или маслоулавливающих колец, задевающие за вал; 11) дефекты в зубчатых или ременных передачах; 12) номинальная скорость вращения ротора машины совпадает с критической (резонансной) скоростью его; 13) совпадение частоты собственных колебаний фундамента со скоростью вращения.

Определение механических характеристик ЭМ

Механические характеристики ЭМ — механическая постоянная времени $T_{мех}$, момент инерции J или маховый момент GD^2, зависимость вращающего, тормозного и избыточного момента, а также момента сопротивления приводимого механизма от времени — весьма существенны при расчете переходных процессов в машинах. Данные о поведении машин при пуске и остановке, торможении и реверсировании, перегрузках и аварийных режимах, связанных со снижением напряжения и частоты в системе, необходимы при выборе настроек автоматических устройств и релейных защит, определении времени пуска, торможения и реверсирования двигателей и др. Приводим некоторые способы определения механических характеристик машин на месте их установки.

Маховый момент

Наибольшее распространение получил способ определения махового момента ЭМ при ее самоторможении.

Электрическую машину вращают в режиме ненагруженного двигателя (скорость вращения желательно поднять выше номинальной на 15—20%), затем машину отключают, и за счет потерь (механических и в активной стали) начинается торможение. С интервалом 5—10 *сек* записывают скорость и время, исчисляемое с момента отключения машины. Зависимости $n = f(t)$ лучше записывать с помощью осциллографа и тахогенератора. В точке, соответствующей номинальной скорости вращения $n_{ном}$, к кривой $n = f(t)$ (рис. V.7) проводится касательная до пересечения с осью абсцисс. Отрезок оси, заключенный между абсциссой номинальной скорости и точкой пересечения с касательной, называют постоянной времени самоторможения $T_{н}$.

Рис. V.7. Определение механической постоянной времени ЭМ по кривой выбега.

По полученным данным и измеренным ранее потерям ΔP при номинальной скорости маховый момент может быть определен из выражения

$$GD^2 = \frac{3580 \Delta P T_{н}}{n^2_{ном}} \quad 10^3 \ [н \cdot м^2]. \qquad (V.31)$$

Если машина тормозится без снятия возбуждения и при номинальной скорости имеет место номинальное напряжение на якоре (МПТ и СМ), $\Delta P = \Delta P_{мех} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{возб}$. При самоторможении без возбуждения (АД) $\Delta P = \Delta P_{мех}$ (на все виды трения).

Маховый момент ЭМ и первичного двигателя (агрегата) GD_a^2 может быть определен также методом разбега. Опыт проводится следующим образом. Агрегат при номинальной скорости вращения питает некоторую изолированную нагрузку; в установившемся режиме фиксируется подача движущего агента в первичный двигатель (заклинивается дроссельный клапан и т. п.). Затем толчком часть нагрузки P_1 сбрасывается, и скорость вращения агрегата начинает повышаться; отмечается промежуток времени Δt, в течение которого скорость вращения повысится на величину Δn.

На основании полученных из опыта данных маховый момент

$$GD^2 = \frac{3580 P_1 \Delta t}{n_{ном} \Delta n} 10^3 \ [н \cdot м^2]. \qquad (V.32)$$

Момент инерции и механическая постоянная времени

По известному маховому моменту момент инерции определяют как

$$J = \frac{GD^2}{4g} \ [н \cdot м \cdot сек^2], \qquad (V.33)$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 $м/сек^2$.

Механическая постоянная времени может быть определена непосредственно из опыта, так как она равна постоянной времени самоторможения:

$$T_{мех} = T_н. \qquad (V.34)$$

Если маховый момент определен каким-либо другим способом или приняты каталожные данные, механическая постоянная времени

$$T_{мех} = \frac{GD^2 n_{ном}}{375 M_{ном}} \ [сек], \qquad (V.35)$$

где $M_{ном}$ — номинальный вращающий момент, $н \cdot м$, или

$$T_{мех} = \frac{GD^2 n_{ном}^2}{3580 P_{ном}} 10^{-3} \ [сек], \qquad (V.36)$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, *квт*.

Механическая характеристика электродвигателя

В некоторых случаях для решения вопроса о возможности запуска или самозапуска приводимого механизма с помощью исследуемого электродвигателя при номинальном или пониженном напряжении необходимо знать механическую характеристику, т. е. зависимость вращающего момента электродвигателя $M_{вр}$ от скорости вращения n или скольжения s при постоянных напряжении якоря и возбуждении.

Для заводских или лабораторных условий эту характеристику снимают с помощью специального тормозного устройства, изготовляемого обычно на базе одного или двух МПТ. В пусковых или эксплуатационных условиях такой метод, как правило, неприемлем. Механическая характеристика может быть получена путем построения на основании данных осциллографирования скорости при пуске двигателя вхолостую. При этом получают кривую зависимости скорости вращения от времени $n = f(t)$, которая показана на рис. V.8.

В основе построения механической характеристики лежит соотношение

$$M_{вр} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}, \qquad (V.37)$$

или приближенно

$$M_{вр} \simeq \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \ [н \cdot м]. \qquad (V.38)$$

Разделив время пуска на интервалы длительностью Δt и определяя по кривой $n = f(t)$ соответствующие им приращения скорости Δn, по

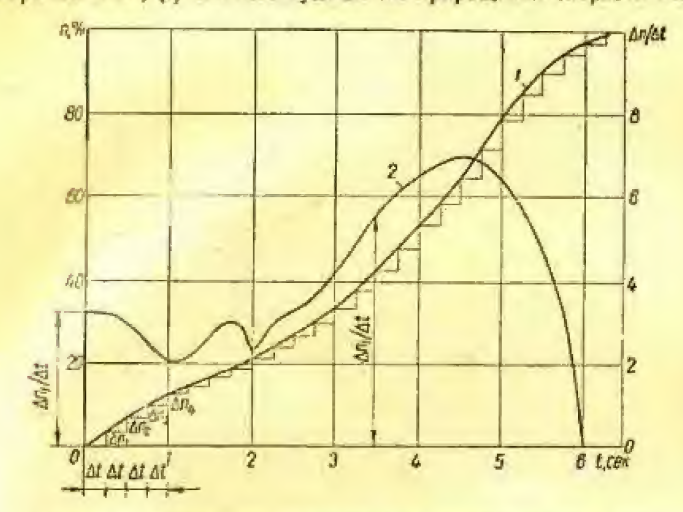


Рис. V.8. Построение механической характеристики двигателя:

1 — снятая кривая $n = f(t)$; *2* — построенная характеристика $\frac{\Delta n}{\Delta t} = f(t)$.

(V.38) рассчитывают значения вращающего момента для конца каждого интервала или для скорости вращения в данный момент времени. Все это ложится в основу построения механической характеристики $M = f(n)$.

Механическая характеристика приводимого механизма

Механическая характеристика приводимого механизма, т. е. зависимость его момента сопротивления M_c от скорости вращения n [$M_c = f(n)$], может быть получена при осциллографировании скорости вращения агрегата во время пуска.

Избыточный (динамический) ускоряющий момент электропривода

$$M_{из} = M_{вр} - M_c = \frac{GD_a^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}, \qquad (V.39)$$

где $M_{вр}$ — вращающий момент двигателя, $н \cdot м$; $GD^2_а$ — маховый момент агрегата с нагрузкой (или без нее), приведенной к валу электродвигателя, $н \cdot м^2$.

Согласно (V.39), для любого момента времени при пуске момент сопротивления приводимого механизма

$$M_с = M_{вр} - M_{из} = M_{вр} - \frac{GD^2_а}{375} \cdot \frac{dn}{dt}. \qquad (V.40)$$

Величину махового момента агрегата определяют по данным опыта самоторможения из равенства

$$GD^2_а = \frac{3580 T_н P_а}{n^2_{ном}} 10^3 \ [н \cdot м^2], \qquad (V.41)$$

где $P_а$ — мощность, потребляемая электродвигателем из сети при номинальной скорости и измеряемая перед проведением опыта самоторможения.

Путем осциллографирования скорости вращения во время пуска агрегата получают графическую зависимость $n = f(t)$, на основании которой по уравнению

$$M_{из} = \frac{GD^2_а}{375} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \qquad (V.42)$$

строят кривую зависимости $M_{из} = f(n)$.

Нанеся на диаграмму (рис. V.9) кривые $1 - M_{вр} = f_1(n)$ и $3 - M_{из} = f_2(n)$ и вычитая ординаты при нескольких значениях скорости вращения n, получают механическую характеристику 2 приводимого механизма.

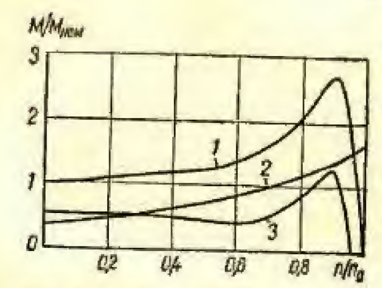


Рис. V.9. Построение механической характеристики приводимого механизма (n_0 — синхронная скорость вращения): $1 - M_{вр} = f(n)$; $2 - M_с = f(n)$; $3 - M_{из} = f(n)$.

Определение начального момента сопротивления механизма или агрегата в целом

Этот момент может быть определен с помощью рычага с грузом, укрепляемого на свободной части вала. Увеличивая груз или плечо рычага, достигают положения, при котором под действием созданного ими вращающего момента вал начнет поворачиваться. Тогда начальный момент сопротивления

$$M_{нач} = G_г l_г + \frac{1}{2} G_р l_р \ [н \cdot м], \qquad (V.43)$$

где $G_г$ и $G_р$ — вес соответственно груза и рычага, $н$; $l_г$ и $l_р$ — проекции на горизонталь соответственно расстоянию от оси вала до центра тяжести груза и длины рычага, $м$.

Глава VI

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Объемы испытаний

Вводимые в эксплуатацию машины постоянного тока (МПТ), кроме возбудителей синхронных генераторов и компенсаторов, необходимо подвергать приемо-сдаточным испытаниям, которые, согласно ПУЭ, включают следующие элементы.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками, а также бандажей.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.

3. Измерение сопротивления постоянному току: а) обмоток возбуждения МПТ, б) реостатов и пуско-регулировочных сопротивлений на каждом ответвлении, в) обмотки якоря (между коллекторными пластинами).

4. Снятие х. х. х. и испытание витковой изоляции.

5. Измерение воздушных зазоров под полюсами.

6. Проверка работы МПТ на холостом ходу в течение 1 *ч*. Величина тока холостого хода не нормируется.

7. Определение пределов регулирования скорости вращения электродвигателей на холостом ходу и под нагрузкой.

МПТ напряжением свыше 440 *в* мощностью 200 *квт* и выше подвергаются приемо-сдаточным испытаниям в полном описанном здесь объеме; для остальных МПТ выполняются п. 1, 2, 3б, 5—7. Перед вводом МПТ в эксплуатацию проверяют, возможно ли включение их без сушки изоляции.

В объем приемо-сдаточных испытаний возбудителей синхронных генераторов и компенсаторов, кроме п. 1—5, испытания по которым выполняют независимо от мощности машины, входят измерение сопротивления изоляции подшипников, снятие нагрузочной характеристики (при нагрузке на ротор генератора), измерение вибрации. Сопротивление постоянному току обмотки якоря между коллекторными пластинами измеряется у возбудителей генераторов мощностью 12,5 тыс. *квт* и более.

Помимо перечисленных испытаний, в процессе наладочных работ часто возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Осмотр машин постоянного тока

В гл. V даны основные указания по осмотру ЭМ. При осмотре МПТ следует проверить дополнительно правильность расстановки главных и добавочных полюсов (расстояния между краями их башмаков не должны

отличаться друг от друга больше чем на 1—2 *мм*); осмотреть коллектор, обращая внимание на то, чтобы поверхность его была чистой, без царапин и вмятин; изоляцию между пластинами следует выбирать на

Рис. VI.1. Вид коллекторных пластин:

а — после правильной обработки; *б* — после неправильной обработки.

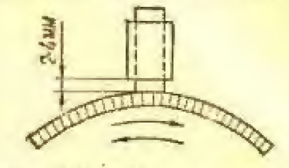


Рис. VI.2. Расположение обойм щеткодержателей.

глубине 1,5—2,5 *мм* по всей ширине между пластинами, следить, чтобы края пластин не были острыми. Пластины должны прилегать к щетке почти по всей ширине, поэтому закругление поверхности пластин недопустимо (рис. VI.1); коллектор следует очистить от медных стружек и угольной пыли.

При осмотре МПТ нужно проверить правильность выполнения щеткодержателей, а также расстановку и подбор щеток, надежность за-

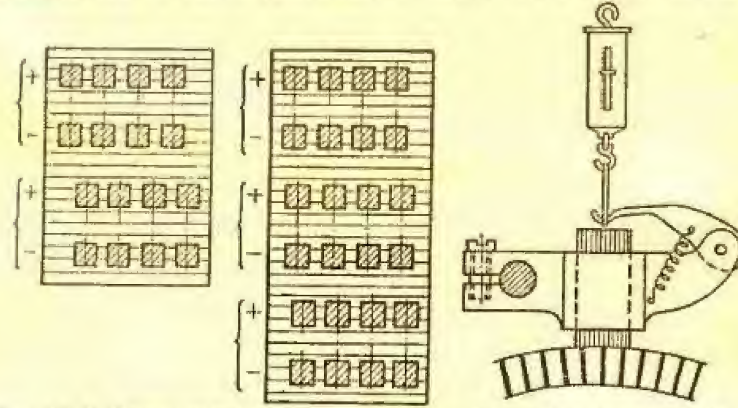


Рис. VI.3. Расположение щеток на коллекторе.

Рис. VI.4. Расположение динамометра при измерении натяжения щеток.

крепления траверсы щеткодержателей. На траверсе и на торцовой крышке машины должны быть заводские отметки; согласно ГОСТу 183-66, по этим отметкам определяют нормальное положение щеток на коллекторе.

Щеткодержатели нужно прочно закреплять на траверсе. Расстояние между нижними краями обойм щеткодержателей и коллектором должно составлять 2—4 *мм* (рис. VI. 2). Обоймы щеткодержателей следует располагать на пальцах таким образом, чтобы расстояние от края коллектора до щеток обеих полярностей, а также расстояние между ними для одной группы были одинаковыми. Остальные группы щеток необходимо смещать относительно первой (рис. VI.3).

Таблица VI.1

Применение щеток для МПТ

Машина (тип и назначение)	Условия работы: плотность тока, $a/см^2$	Условия работы: окружная скорость, м/сек	Рекомендуемые марки щеток: основные	Рекомендуемые марки щеток: дополнительные
Двигатели постоянного тока				
Двигатели общепромышленного применения напряжением 120—220 *в* с нормальной или несколько затрудненной коммутацией, меняющейся нагрузкой и мощностью около 100 *квт*	До 10	20—25	ЭГ14	ЭГ2а
Двигатели подъемников, кранов, насосов:				
мощность 10—25 *квт*, напряжение до 500 *в*	До 8	До 15	Г1	ЭГ14, ЭГ9
мощность 10—25 *квт*, напряжение до 500 *в* в случае затрудненной коммутации и загрязнения коллектора	До 6	До 10	Т2	ЭГ14, ЭГ9
средней и большей мощности, в том числе реверсивные напряжением до 500 *в*	До 10	15—30	ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8	ЭГ9
Двигатели вспомогательных механизмов прокатных станов	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ15	—
Приводы прокатных станов	9—10	30—40	ЭГ8, ЭГ14, ЭГ15	—
Двигатели реверсивные и нереверсивные для блюмингов, слябингов, рельсобалочных станов и т. п.	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ15	—
Тяговые двигатели:				
напряжение 500 *в* и больше	До 10	30—40	ЭГ2а	ЭГ9
напряжение 220—250 *в*	До 10	30	ЭГ14	ЭГ9
Генераторы постоянного тока				
Генераторы, возбудители и коллекторы одноякорных преобразователей: мощность до 20—30 *квт*, напряжение 110 *в*	До 9	До 15	ЭГ14	ЭГ2а

Продолжение табл. VI.1

Машина (тип и назначение)	Условия работы		Рекомендуемые марки щеток	
	плотность тока, $a/см^2$	окружная скорость, м/сек	основные	дополнительные
Генераторы, возбудители и коллекторы одноякорных преобразователей:				
средняя и большая мощность, напряжение 110 *в* (нагрузка равномерная, коммутация нормальная)	До 10	20—25	Г3	ЭГ2а, ЭГ5, ЭГ14, ЭГ8
средняя и большая мощность, напряжение 110—120 *в* и больше (нагрузка толчкообразная, коммутация затрудненная), в том числе генераторы преобразовательных агрегатов	До 10	20—30	ЭГ14, ЭГ8, ЭГ83, ЭГ15	—
Сварочные генераторы	—	—	Г3, ЭГ4	ЭГ8, ЭГ14
Генераторы пониженного напряжения (для зарядки батарей и электролиза), *в*:				
до 80	До 12	До 20	ЭГ4, ЭГ5	Г3, М3
до 40	До 12	До 20	МГ, М6	М3
12—14	10—15	До 20	МГ4	М1
до 12	До 20	До 20	МГС, СМ	—

Необходимо следить, чтобы обоймы щеткодержателей не находились слишком близко (по условиям перекрытия по воздуху) к петушкам и другим деталям якоря при его осевом разбеге. Выбор щеток обусловливается окружной скоростью коллектора и величиной тока, а также типом машины (табл VI.1). В сомнительных случаях силу нажатия щеток нужно проверять с помощью динамометра (рис. VI.4). Щетку следует оттягивать динамометром до такого положения, пока положенный под нее лист бумаги будет выниматься без усилия. Во избежание заклинивания и поломок из-за слишком свободной посадки щетки в обойме зазор между щеткой и обоймой должен составлять 0,1—0,2 *мм*.

Равномерность расстановки щеток по окружности коллектора проверяют с помощью полосы бумаги, обворачиваемой вокруг коллектора под щетками; против краев щеток на бумаге наносят риски. Расстояние между рисками не должно разниться более чем на 1—2 *мм*. Проверка путем подсчета числа коллекторных пластин между щетками дает значительно менее точные результаты.

Правильность маркировки выводов МПТ можно проверить по табл. VI.2.

При измерении воздушных зазоров нужно учесть, что величина зазоров в диаметрально противоположных точках не должна отличаться от среднего значения более чем на 10%.

Таблица VI.2

Обозначение выводов обмоток МПТ по ГОСТу 183-66

Наименование	Начало	Конец
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Параллельная и независимая обмотки возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	01; 03	02; 04

Таблица VI.3

Допустимые величины биения ротора МПТ

Диаметры коллектора, *мм*	Скорость вращения, *об/мин*	Биение, *мм*		Допустимое увеличение биения в горячем состоянии по сравнению с холодным, *мм*
		в холодном состоянии	в горячем состоянии	
До 250	До 3000	0,02	0,04	0,02
250—350	750—2000	0,02	0,04	0,02
350—600	600—1250	0,03	0,05	0,03
600—900	500—850	0,03	0,06	0,04
900—1500	450—700	0,04	0,07	0,04
Свыше 1500	До 400	0,04	0,07	0,05

Остаточное напряжение можно обнаружить милливольтметром при проворачивании машины вручную. Иногда это позволяет заблаговременно подготовиться к намагничиванию полюсов МПТ, потерявших остаточный магнетизм.

В случае необходимости (повышенная вибрация, сильное искрение щеток и т. д.) измеряют биение вала, коллектора и сердечника якоря. В табл. VI.3 приведены нормы допустимого биения при вращении со скоростью до 1 *м/сек*, принятые в электромашиностроении.

Испытание изоляции обмоток и бандажей

Измерение сопротивления изоляции

Методика измерений рассмотрена в гл. III и V.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между собой, а также относительно корпуса и соединенных с ним обмоток бандажей измеряется мегомметром на напряжение 500—1000 *в*.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток и бандажей возбудителей необходим мегомметр на 1000 *в*.

Сопротивление изоляции (за исключением возбудителей) при приемо-сдаточных испытаниях ПУЭ не нормируется, однако величина его должна быть не ниже значений, приведенных в табл. VI.4 и на рис. VI.5 («Инструкция по определению возможности включения вращающихся электрических машин постоянного тока без сушки» СН 282-64).

Таблица VI.4

Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции R_{60} для обмоток машин в зависимости от температуры

Температура обмоток, °C	Сопротивление изоляции R_{60}, *Мом*, при номинальном напряжении машины, *в*				
	220	460	650	750	900
10	2,7	5,3	8	9,3	10,8
20	1,85	3,7	5,45	6,3	7,5
30	1,3	2,6	3,8	4,4	5,2
40	0,85	1,75	2,5	2,9	3,5
50	0,6	1,2	1,75	2	2,35
60	0,4	0,8	1,15	1,35	1,6
70	0,3	0,5	0,8	0,9	1
75	0,22	0,45	0,65	0,75	0,9

Таблица VI.5

Испытательные напряжения (промышленной частоты) для изоляции обмоток и бандажей МПТ

Мощность и тип МПТ	Номинальное напряжение (действующее значение), *в*
Мощность 3—1000 *квт* при $U_{ном}$ свыше 36 *в*	0,75 ($2U_{ном}$ + 1000), но не меньше 1100
Мощность 1000 *квт* и выше при	
$U_{ном} < 3300$ *в*	0,75 ($2U_{ном}$ + 1000)
$U_{ном} = 3300—6600$ *в*	0,75 · $2{,}5U_{ном}$
$U_{ном} > 6600$ *в*	0,75 ($2U_{ном}$ + 3000)
Возбудители синхронных генераторов и компенсаторов	0,75 · $10U_{ном}$ возбуждения генератора, но не меньше 1100 и не больше 2600
Цепи возбуждения возбудителя со всей присоединенной аппаратурой (без обмоток ротора и возбудителя)	1000

Необходимо убедиться в том, что сопротивление изоляции обмоток возбудителей относительно корпуса и бандажей при температуре 10—30° С не менее 0,5 *Мом*. Сопротивление изоляции бандажей не нормируется. Величина сопротивления изоляции цепей возбуждения возбудителей со всеми присоединенными аппаратами (без обмоток возбудителя и ротора) должна быть не менее 1 *Мом*.

Наименьшую допустимую величину сопротивления изоляции (но не менее 0,5 *Мом*) при рабочей температуре машины согласно ГОСТ$_{У}$ 183-66 определяют по выражению (VI.1).

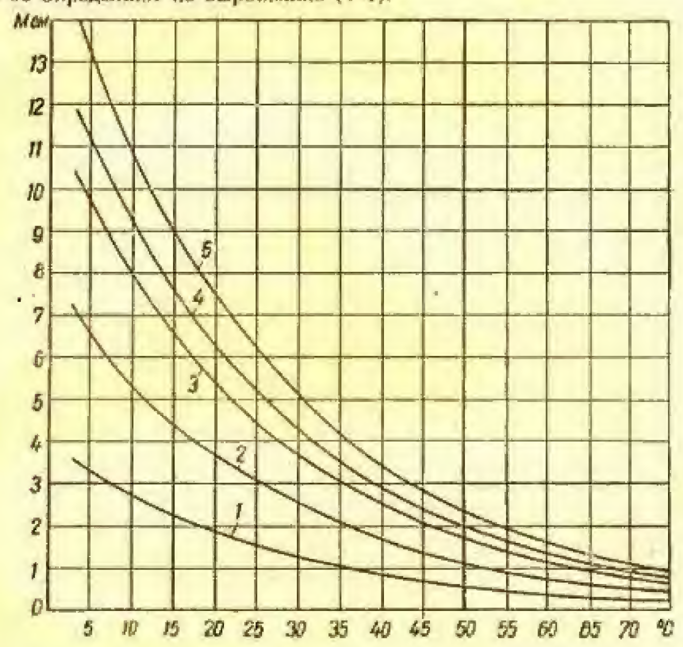


Рис. VI.5. Зависимость наименьшего допустимого значения сопротивления изоляции обмоток МПТ от температуры для машин на напряжения:

1 — 220 *в*; *2* — 460 *в*; *3* — 650 *в*; *4* — 750 *в*; *5* — 900 *в*.

Сопротивление изоляции МПТ, а также всей сети постоянного тока можно определить вольтметром с большим внутренним сопротивлением $R_в$ (не ниже 500 *ом/в*). Вольтметр подключают поочередно к обоим выводам машины (напряжение U) и между каждым из выводов и корпусом (U_1 и U_2). Тогда сопротивление изоляции

$$R_{из} = R_в\left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1\right)10^{-6}\ [Мом]. \qquad (VI.1)$$

Испытание электрической прочности изоляции

Методика испытаний рассмотрена в гл. III и V. В табл. VI.5 приведены напряжения промышленной частоты для приемо-сдаточных испытаний изоляции МПТ. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

При приемо-сдаточных испытаниях генераторов постоянного тока проверку междувитковой изоляции осуществляют путем повышения напряжения до 130% номинальной величины в процессе снятия х. х. х. Продолжительность испытания 5 *мин*.

Определение возможности включения МПТ без сушки

Условия включения МПТ без сушки, методика измерения и критерии оценки состояния изоляции приведены в «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин постоянного тока без сушки» (СН 282-64). Инструкция распространяется на все вводимые в эксплуатацию вращающиеся МПТ общепромышленного назначения отечественного производства напряжением до 1000 *в* с изоляцией классов *А* и *В* (табл. V.3). В зависимости от напряжения и класса изоляции обмоток МПТ можно включать без сушки при следующих условиях.

1. Сопротивление изоляции обмоток R_{60}, измеренное при температуре не ниже +10° С, машин напряжением до 500 *в* с изоляцией обмоток класса *А* должно быть не менее величин, указанных в табл. VI.4.

2. Для машин с изоляцией класса *В* напряжением выше 500 *в* до 1000 *в* сопротивление R_{60} должно иметь те же значения, что и для машин с изоляцией класса *А*; кроме того, при температуре от +10 до +30° С коэффициент абсорбции R_{60}/R_{15} должен быть $\geqslant 1{,}2$.

При промежуточных значениях температуры минимальное допустимое сопротивление изоляции обмоток можно определить по кривым рис. VI.5. Данные табл. VI.4 и рис. VI.5 относятся к машинам с изоляцией обмоток класса *В*, но пригодны и для машин с изоляцией обмоток класса *А*. Ниже приведены классы изоляции обмоток якорей МПТ различных типов.

Изоляция обмоток якорей машин постоянного тока

Наименование и тип машины	Класс изоляции
Генераторы типа ГП	В
Двигатели типа МП	В
Машины серии П-100	А
Двигатели типа ДПП	В
» » ДП	В
Генераторы типа ГПМ	В
Машины типа ПБК	В
» » МПБ	В
Машины единой серии П:	
габариты 1, 2, 3	А
» 4, 5, 6	В
Генераторы типа ЗДН	А
Машины типа АВ2	А
» » ГПН	В

Если характеристики изоляции удовлетворяют приведенным выше условиям, изоляция обмоток должна быть подвергнута испытанию повышенным напряжением переменного тока (в соответствии с требованиями предыдущего параграфа).

Если сопротивление изоляции R_{60} и коэффициент абсорбции R_{60}/R_{15} ниже требуемых, то изоляцию обмоток следует подвергнуть контрольному прогреву, а в случае необходимости — сушке.

Сопротивление изоляции обмоток машин нужно измерять мегомметром на 1000 *в* при температуре не ниже +10° С, соединив все обмотки, входящие в силовую цепь (якорная, компенсационная, сериесная), по рабочей схеме.

Перед измерениями обмотки машин очищают от грязи и пыли, продувая сухим и чистым воздухом давлением не выше 2 *ат*. В доступных местах протирают чистой и сухой ветошью.

Если на обмотки машины в течение длительного времени попадала вода, то перед испытаниями, связанными с приложением повышенного напряжения выпрямленного или переменного тока, необходимо провести контрольный прогрев обмоток машины.

Особенности измерения сопротивления обмоток МПТ постоянному току

Методика измерений рассмотрена в гл. III и V. Допускаются отклонения величины сопротивления обмоток возбуждения от заводских данных или ранее измеренных величин не более чем на ±2%.

Для предотвращения размагничивания полюсов при измерении сопротивления параллельных обмоток МПТ с самовозбуждением испытания следует проводить так, чтобы направление тока в обмотке совпадало с заданным.

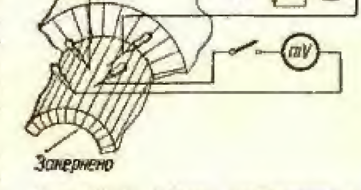


Рис. VI.6. Схема измерения сопротивления якорной обмотки между соседними коллекторными пластинами.

Измерение сопротивления обмотки якоря — операция сложная и трудоемкая. Практически невозможно с должной точностью измерить сопротивление обмотки или отдельных ее ветвей у собранного якоря: мешает большое количество параллельных цепей, многократная замкнутость обмотки, уравнительные соединения у некоторых машин. В зависимости от поставленной задачи применяют разные методы измерения сопротивления обмотки якоря.

Чтобы проверить качество паек и убедиться, что нет витковых замыканий и обрывов, обычно измеряют сопротивления между соседними коллекторными пластинами. Такое измерение выполняют с помощью вольтметра (милливольтметра) и амперметра при питании схемы от аккумуляторной батареи (рис. VI.6). В этом случае очень удобно использовать два сдвоенных щупа; к одному из стержней присоединяют вольтметр, а к другому — токовую цепь. Соединяемые с токовой цепью стержни — пружинящие и более длинные, так что вначале при соединении щупов с коллекторными пластинами замыкают цепь тока, а затем, после нажатия на щупы, присоединяют вольтметр (рис. VI.7). Это предохраняет последний от повреждения. При проведении измерений щетки находятся в поднятом состоянии и не касаются коллектора; пластины последнего следует пронумеровать мелом, якорь периодически

поворачивать для удобства измерений. Величина тока должна быть 10—20 *а*, но не больше 20% номинальной.

Качество паек можно проверить микроомметром типа М-246 или переносным двойным мостом.

Величины сопротивлений между ламелями не должны отличаться друг от друга более чем на 10%, если это отклонение не обусловлено наличием уравнительных соединений.

Если сопротивление обмотки якоря определяют для расчета потерь мощности или падения напряжения в нем, а также для сравнения с расчетными значениями сопротивления, то наиболее сложным оказывается выбор коллекторных пластин, между которыми должно проводиться измерение. Согласно ГОСТу 10159-69, для якорей с простыми волновыми обмотками, имеющими полное число уравнительных соединений,

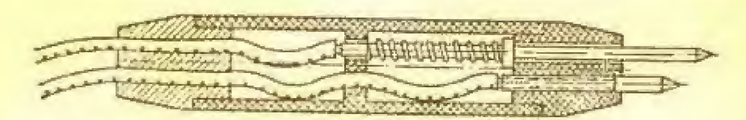


Рис. VI.7. Разрез сдвоенного щупа для измерения сопротивления якорных обмоток постоянному току.

сопротивление измеряют между коллекторными пластинами, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном числу пластин: $\frac{K}{2P}$ (где K — полное число коллекторных пластин; $2P$ — число главных полюсов), причем отношение $\frac{K}{2P}$ округляют до целого числа. Для более сложных обмоток пластины выбирают на основании детального изучения схемы и электрических характеристик обмотки. При измерении по этому методу щетки можно не поднимать (исключение составляют металлографитные щетки). Если число полюсов в машине меньше восьми, щетки любого типа поднимают.

Перед испытанием желательно убедиться в том, что щетки притерты и примерно одинаково прижаты к коллектору. Измерение в данном случае проводят с помощью вольтметра и амперметра. Ток (10—20% номинального) подводят либо через щетки, либо (для небольших машин) металлическими щупами, падение напряжения измеряют вольтметром, присоединенным щупами к коллекторным пластинам под щетками. Так как щетки перекрывают обычно несколько коллекторных пластин, напряжение следует измерять между несколькими парами пластин, чтобы шаг между пластинами был равен $\frac{K}{2P}$. Величину сопротивления определяют как среднее из полученных значений для всех пар щеток.

Сопротивление якоря можно рассчитать по формуле

$$R_я = 0{,}5\,(1-\eta)\,\frac{U_{ном}}{I_{ном}}, \qquad \text{(VI.2)}$$

где η — к. п. д.; $I_{ном}$ и $U_{ном}$ — соответственно номинальные ток и напряжение.

Для определения температуры якорной обмотки в процессе испытаний на нагрев коллекторные пластины, между которыми измеряют сопротивление, как правило, можно выбрать произвольно. Существенную роль играют пределы измерений применяемых приборов; пластины выбирают так, чтобы показания амперметра и вольтметра при всех значениях температуры обмотки находились во второй половине шкалы. Измерение проводится с помощью щупов. Якорь при всех измерениях должен находиться в одном и том же положении относительно щеток, которые остаются на коллекторе или поднимаются.

Сопротивление регулировочных и пусковых реостатов и гасителей поля измеряют при приемо-сдаточных испытаниях на каждом ответвлении. Следует добиваться, чтобы величина сопротивления не отличалась от расчетных или паспортных данных больше чем на 10%. Для ориентировочных расчетов правильности выбора регулировочных реостатов шунтовых генераторов можно принять, что его полное сопротивление должно быть больше сопротивления шунтовой обмотки примерно в 3—4, для двигателей — в 2,5 раза. Отношение сопротивления гашения поля возбудителей к сопротивлению обмотки возбуждения рекомендуется равным 10; для остальных МПТ — 7, если оно включено постоянно, и 1, если оно включается автоматически.

Стационарные методы проверки схем внутренних соединений и полярности обмоток

Проверка согласованности включения обмоток главных полюсов

Способ импульсов. К началу одной из обмоток (например, шунтовой ШО) через прерыватель подключают положительный полюс низковольтного источника э. д. с., а к началу другой (сериесной СО) — положительный вывод милливольтметра; отрицательные полюсы подключают к концам обмоток. Если при замыкании цепи источника э. д. с. стрелка милливольтметра отклонится вправо, то начало и конец обмоток обозначены правильно (рис. VI.8). Аналогично можно определить начало и конец обмоток каждого полюса в отдельности.

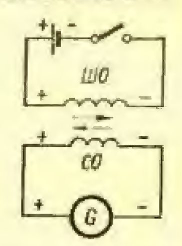


Рис. VI.8. Схема проверки правильности включения обмоток главных полюсов (метод импульсов).

Способ магнитной стрелки. К началу обмоток через выключатели и соответствующие сопротивления подсоединяют один и тот же полюс источника напряжения, а к концу — другой. Замыкая цепь одной обмотки, подносят к полюсному наконечнику или к крепящему полюс болту магнитную стрелку и определяют его полярность; затем эту обмотку отключают и включают вторую. Если полярность не изменилась, начало и конец обмоток обозначены правильно.

Способ проворачивания якоря. Собрав схему, как описано выше, к якорю подключают низкопредельный магнитоэлектрический вольтметр и вручную плавно поворачивают якорь. Если выводы обозначены правильно, направление отклонения стрелки вольтметра при питании каждой обмотки не изменяется.

Проверка правильности включения обмотки добавочных полюсов

Способ магнитной стрелки. К обмоткам главных и добавочных полюсов (ДП) подводят питание согласно схеме их включения и с помощью магнитной стрелки определяют полярность полюсов.

На рис. VI.9 показано правильное чередование главных и добавочных полюсов при разных направлениях вращения. Магнитную стрелку можно подносить к болтам, которыми крепятся добавочные полюсы, при этом полярность полюса будет обратной.

Способ переменного тока. В цепь, состоящую из якоря *Я* и добавочных полюсов ДП, через понизительный трансформатор (или АТ) подают ток, равный 10—15% номинального (рис. VI.10, *а*); при этом

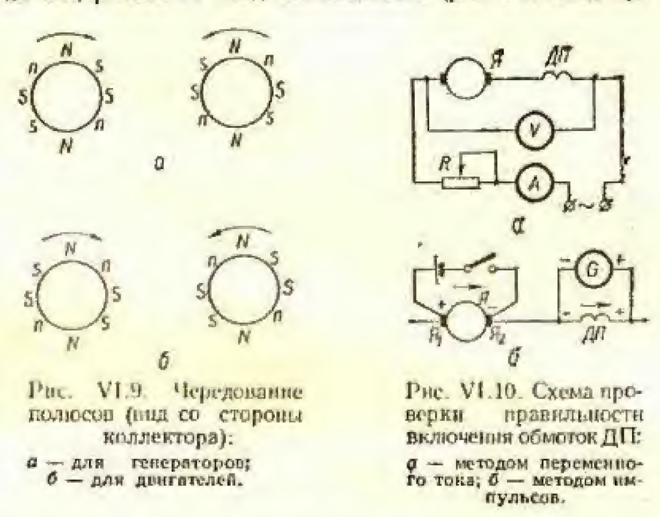


Рис. VI.9. Чередование полюсов (вид со стороны коллектора):
а — для генераторов; *б* — для двигателей.

Рис. VI.10. Схема проверки правильности включения обмоток ДП:
а — методом переменного тока; *б* — методом импульсов.

щетки ставят на нейтраль. Затем, изменив полярность обмотки якоря (можно сдвинуть щетки на 180 *электр. град*), повторяют измерение. Правильному включению обмоток соответствует меньшее сопротивление цепи, определенное как

$$Z = \frac{U}{I}. \qquad (VI.3)$$

Способ импульсов. К щеткам, установленным на нейтрали, через прерыватель подключают источник э. д. с. (2—4 *в*) так, чтобы «минус» был в точке соединения якоря с обмоткой добавочных полюсов. В ту же точку присоединяют «минус» милливольтметра, а «плюс» подключают к противоположному выводу обмотки добавочных полюсов (рис. VI.10, *б*). Если обмотки ДП включены правильно, то при замыкании цепи якоря стрелка милливольтметра отклонится вправо.

Для обмоток ДП, включенных по обе стороны якоря, опыт проводится дважды, для каждой части полюсов отдельно.

Проверка правильности включения компенсационной обмотки (КО)

Поток КО должен быть направлен согласно с потоком ДП. Проверку согласованности включения раздельных обмоток ДП и КО можно провести методом переменного тока или методом импульсов (аналогично проверке согласованности включения обмоток главных полюсов).

В машинах, у которых ДП чередуются с участками КО, согласованность включения этих обмоток можно установить, задаваясь условным направлением токов в обмотках и пользуясь «правилом буравчика».

Проверка полярности якоря

Способ импульсов. К обмотке возбуждения через прерыватель подключают источник э. д. с., так чтобы его положительный полюс был у начала обмотки. Щетки сдвигают с нейтрали в сторону вращения на небольшой угол (10—15 *электр. град*) и к ним присоединяют милливольтметр. Если при замыкании прерывателя стрелка милливольтметра отклоняется вправо, то его положительный полюс соединен с положительной щеткой, если влево — с отрицательной.

Вместо перемещения щеток можно воспользоваться соединенными с гальванометром щупами, которые прижимают к коллекторным пластинам, отстоящим на тот же угол (10—15°) от любой пары щеток в направлении вращения (рис. VI.11).

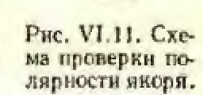


Рис. VI.11. Схема проверки полярности якоря.

Способ проворачивания якоря. К обмотке возбуждения подключают источник постоянного тока, способный создать в полюсах поток, превышающий остаточный. В этом можно убедиться, изменяя направление тока в обмотке и отмечая перемену полярности полюсов с помощью магнитной стрелки. К щеткам присоединяют вольтметр постоянного тока и вручную толчком проворачивают якорь в предполагаемом направлении вращения. По отклонению стрелки определяют полярность щеток и делают выводы о правильности внутренних и внешних соединений машины.

Эта проверка позволяет определить будущее направление вращения двигателей.

Оценка степени искрения, проверка коммутации и определение области безыскровой работы

Степень искрения под сбегающим краем щетки оценивается, согласно ГОСТу 183-66, по шкале, приведенной в табл. VI.6.

Для исключения субъективных оценок о степени искрения следует судить по состоянию коллектора и щеток. При номинальном режиме работы степень искрения всех МПТ должна быть не выше $1\frac{1}{2}$.

Коммутацию при перегрузке машин можно проверить в режиме короткого замыкания при независимом возбуждении. В этом случае нужно принять меры, чтобы не произошло самовозбуждения из-за последовательной обмотки возбуждения, ДП и пр.

Таблица VI.6

Степень искрения (класс коммутации) ЭМ (в соответствии с ГОСТом 183-66)

Степень искрения (класс коммутации)	Внешние признаки	Состояние коллектора и щеток
1	Искрения нет (темная коммутация)	Почернения на коллекторе и нагара на щетках нет
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью щетки	На коллекторе следы почернения, легко устраняемые бензином, на щетках следы нагара
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	
3	Значительное искрение под всем краем щетки, вылетают крупные искры. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе (при протирании бензином не снимается), подгар и разрушение щеток

Наиболее эффективное средство предотвращения самовозбуждения, представляющего значительную опасность для МПТ,— встречное параллельной включение последовательной обмотки возбуждения, если же ее нет — намотка временной последовательной обмотки на главных полюсах.

При кратковременных перегрузках трудно обнаружить изменения на коллекторе и щетках, поэтому в ущерб объективности приходится оценивать искрение, сравнивая его до перегрузки и после нее. Если при перегрузке искрение не изменилось или быстро восстановилось, степень не превысила двух, если оно долго не восстанавливалось — степень приближалась к трем.

Искрение вызывается различными причинами. Большинство из них можно выявить при внешнем осмотре, проверке механической части, измерении сопротивлений якоря и проверке правильности схемы МПТ.

Причиной чрезмерного искрения может быть неправильная настройка ДП (несоответствие витков, неправильно выбранный зазор), которую при указанных выше проверках нельзя обнаружить. В связи с этим область безыскровой работы для МПТ (согласно ГОСТу 10159-69) следует определять методом изменения возбуждения ДП. Этот метод заключается в том, что при разных токах якоря в режиме нагрузки или

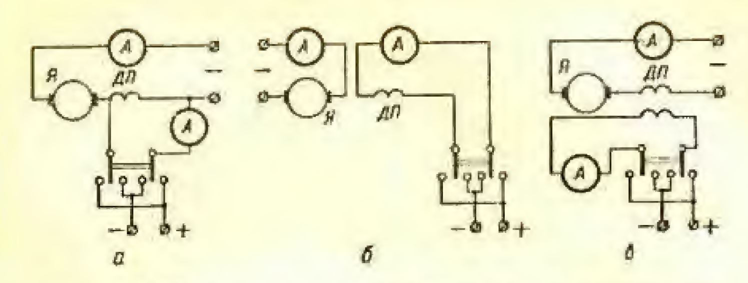


Рис. VI.12. Схемы создания дополнительного магнитного потока в ДП.

короткого замыкания (0—100% и больше), постоянной скорости вращения и установившейся температуре определяют наибольшее и наименьшее отклонения тока ΔI в обмотке добавочных полюсов от тока якоря, при которых коммутация остается темной или степень искрения не превышает заданную.

Возбуждение ДП можно изменить: 1) подключением к зажимам обмотки ДП, включенной в общую цепь якоря МПТ, постороннего источника постоянного тока (рис. VI.12, *а*); 2) посторонним источником при отключении обмотки ДП от цепи якоря (рис. VI.12, *б*); 3) наложением на ДП дополнительной обмотки, питаемой от постороннего источника (рис. VI.12, *в*); 4) шунтированием сопротивлением обмотки ДП.

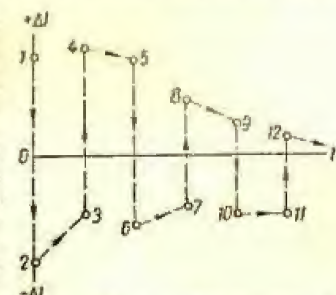


Рис. VI.13. Зависимость ΔI от тока якоря при опыте дополнительного питания ДП.

В первом случае ΔI может быть определено при непосредственном измерении в цепи постороннего источника, во втором — как разность между током якоря и током обмотки добавочных полюсов ($\Delta I = I_я - I_{ДП}$), в третьем — как ток постороннего источника $I_{п.и}$, приведенный к виткам обмотки ДП:

$$\Delta I = I_{п.и} \frac{\omega_{п.и}}{\omega_{ДП}}, \qquad (VI.4)$$

где $\omega_{ДП}$ и $\omega_{п.и}$ — число витков соответственно основной и дополнительной обмоток ДП.

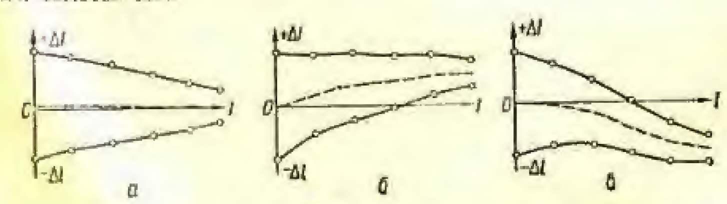


Рис. VI.14. Области безыскровой коммутации при нормальной (*а*), малой (*б*) и слишком большой (*в*) намагничивающей силе ДП.

Практически кривые верхних и нижних границ безыскровой области определяют при плавном изменении ΔI до появления первой искры под любой щеткой. Зависимости отклонения ΔI от тока якоря показаны на рис. VI.13 и VI.14.

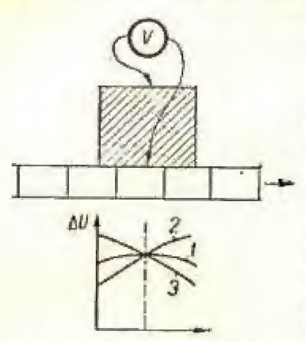


Рис. VI.15. Потенциальная диаграмма коммутации МПТ и схема ее получения.

Если намагничивающая сила ДП слишком велика, их следует отдалить от якоря или заменить стальные прокладки у основания латунными. Если намагничивающая сила ДП слишком мала, ДП нужно приблизить.

Можно рекомендовать также метод настройки коммутации, основанный на снятии потенциальной диаграммы под щеткой. Вольтметр с низким пределом измерения подключают при работе машины с нагрузкой одним зажимом к поводку щетки, а другим поочередно к сбегающему и набегающему краям контактной части щетки (рис. VI.15). Если падение напряжения ΔU под обоими краями одинаково, коммутация прямолинейна (кривая *1*) и чаще всего ее не нужно настраивать. Когда падение на набегающем крае больше, чем на сбегающем (кривая *3*), коммутация ускоренная и требуется ослабить действие ДП; в противном случае (кривая *2*) коммутация замедленная и следует усилить действие ДП.

В некоторых случаях для компенсации отставания изменения поля ДП от поля якоря при резких изменениях режима работы применяется индуктивный шунт, который подключается параллельно обмотке ДП и улучшает коммутацию МПТ.

Выбор положения щеток на коллекторе

В МПТ с ДП щетки обычно устанавливают в нейтральном положении, которое может быть определено одним из следующих способов.

Способ импульсов (рис. VI.16). К обмотке возбуждения через прерыватель подключают источник э. д. с. напряжением 2—4 *в* (иногда больше), к щеткам — милливольтметр. Траверсу щеткодержателей немного освобождают и, перемещая щетки, находят положение, при котором замыкание цепи возбуждения не вызывает отклонения стрелки милливольтметра. Это положение и соответствует нейтральному.

Если (вследствие небольшой несимметрии расположения щеток и коллекторных пластин) при разных положениях якоря нейтраль будет перемещаться, следует выбрать положение щеток, при котором максимальные отрицательные и положительные отклонения стрелки прибора равны при разных положениях якоря. После закрепления траверсы следует повторить проверку.

Способ максимального напряжения якоря. МПТ пускают в ход в режиме генератора; к щеткам присоединяется вольтметр, рассчитанный на номинальное напряжение МПТ. Перемещая траверсу со щетками, находят положение, соответствующее наибольшему напряжению. Этот способ менее точен и менее удобен, чем способ импульсов

Способ равных оборотов. МПТ пускают в ход в режиме двигателя

в произвольном направлении и измеряют скорость вращения якоря. Затем, изменяя полярность обмотки возбуждения и, следовательно, направление вращения, повторно измеряют скорость. Если при первом и втором измерениях значения скорости оказываются разными, то, перемещая траверсу, добиваются их равенства.

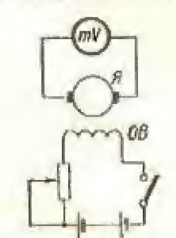


Рис. VI.16. Схема установки щеток в нейтральное положение способом импульсов.

Последовательную обмотку возбуждения (если она имеется) отключают. Щетки следует устанавливать у реверсивных машин в нейтральное положение. У других же в некоторых случаях щетки должны быть немного сдвинуты с нейтрали: у генераторов, питающих индуктивную нагрузку, смещение, как правило, против хода для предотвращения частых размагничиваний и перемагничиваний полюсов при переходных процессах.

Смещение щеток с нейтрали — наиболее простой способ изменения внешней характеристики МПТ. Это может быть использовано для равномерного распределения нагрузки между параллельно работающими машинами. Смещением щеток можно, кроме того, изменять пределы регулирования напряжения и скорости МПТ. Однако следует помнить, что при смещении щеток с нейтрали возможно ухудшение коммутации.

Тепловое испытание МПТ

Тепловое испытание МПТ является типовым на заводе-изготовителе, и при необходимости его можно проводить на месте установки либо в полном объеме, либо для отдельных частей.

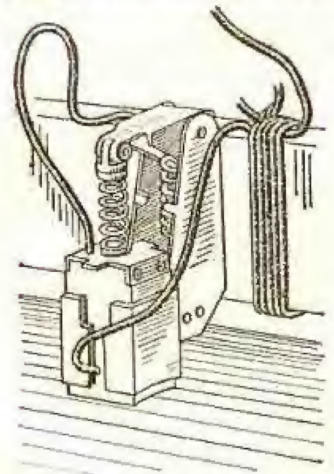


Рис. VI.17. Установка термопары в щетке.

Температуру неподвижных обмоток (возбуждения, добавочных полюсов, компенсационной и др.) определяют преимущественно по сопротивлению; вольтметр рекомендуется присоединять к последовательным обмоткам с помощью горячей пайки. У якорной обмотки температуру определяют по сопротивлению после остановки машины; сопротивление измеряют всегда между одними и теми же коллекторными пластинами при одном и том же положении якоря относительно щеткодержателей.

Если число полюсов больше восьми, щетки можно не поднимать. В отдельных случаях температуру якорной обмотки можно измерять термометром, баллончик которого прижимают к лобовой части обмотки и прикрывают теплоизоляционным материалом. Точно так же термометром измеряют температуру коллектора, зубцов якоря, башмаков полюсов, корпуса машины и бандажей. Если необходимо измерить температуру щеток, в них делают углубление

ближе к контактной части и закладывают термопару, уплотняемую теплоизоляционным материалом (рис. VI.17). Следует иметь в виду, что термопары и измерительное приспособление в этом случае оказываются под потенциалами щеток.

При испытании МПТ на нагрев на месте установки проще всего загрузить ее естественной нагрузкой. Могут быть применены также известные методы нагрузки (типа взаимной), а также метод возвратной нагрузки с участием приводных АД. По этому методу две МПТ (одна из которых испытуемая, а вторая нагрузочная такой же или большей мощности) приводятся в движение своими АД, питаемыми от общей сети. МПТ включают параллельно друг другу, регулируя возбуждение (повышая на испытуемой и уменьшая на нагрузочной), устанавливают требуемый ток якоря при номинальном напряжении. Из сети потребляется мощность, необходимая только на покрытие потерь во всех машинах схемы; приводной двигатель нагрузочной МПТ работает в режиме асинхронного генератора.

Испытание МПТ на месте установки на нагрев желательно проводить при нагрузках 100; 90 и 75% номинальной с построением кривых $\nu = f(I_я^2)$.

В отдельных случаях, особенно для машин мощностью больше 100 *квт*, допускается испытание на нагрев косвенным методом в режимах холостого хода и короткого замыкания. Превышение температуры для всех обмоток определяется как сумма превышений в каждом режиме

$$\nu = \nu_{х.х} + \nu_{к.з}. \qquad (VI.5)$$

Особенности определения потерь в машинах постоянного тока и их к. п. д.

Потери в МПТ и их к. п. д. могут быть определены методами, рассмотренными в гл. V.

В МПТ различают следующие виды потерь: 1) в стали; 2) механические; 3) основные в цепях рабочих обмоток; 4) в переходных контактах щеток; 5) на возбуждение; 6) добавочные. Согласно ГОСТу 11828-66, в объем типовых испытаний МПТ входит определение потерь только в стали и механических. Потери на возбуждение, основные потери в рабочих обмотках и потери в переходных контактах щеток можно определить расчетным путем по данным других испытаний, а добавочные потери принимают равными 1% для некомпенсированных МПТ и компенсированных — 0,5% полезной мощности генераторов и подводимой для двигателей. Добавочные потери для нагрузок, отличных от номинальной, пересчитывают пропорционально квадрату тока.

Потери в переходных контактах щеток принимают не зависящими от тока:

для угольных и графитовых щеток

$$\Delta P_щ = \frac{100}{U_{ном}} \ [\%]; \qquad (VI.6)$$

для металло-угольных и металло-графитных

$$\Delta P_щ = \frac{30}{U_{ном}} \ [\%], \qquad (VI.7)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение МПТ, *в*.

Основные потери в цепи якорной обмотки и обмотках, последовательно соединенных с якорем,

$$\Delta P_0 = I^2 R_t, \qquad (VI.8)$$

где R_t — сопротивление обмоток, приведенное к температуре 75° С.

Потери в параллельной обмотке возбуждения обычно учитывают по току и напряжению возбуждения.

Чтобы определить потери в стали и механические потери, пускают в ход МПТ вхолостую в режиме двигателя, доводят скорость вращения до номинальной и поддерживают на якоре напряжение больше (для генераторов) или меньше (для двигателей) номинального на величину падения напряжения под щетками. Потери определяют по току и напряжению на МПТ.

Определенные опытным путем потери в стали и механические могут быть в случае необходимости разделены. Если машина имеет несколько номинальных скоростей вращения, потери в стали и механические определяют только для наибольшей из них, а также для той скорости, которая является основной.

Определение характеристик машин постоянного тока в режиме генератора

Характеристика холостого хода. Методика получения х. х. х. приведена в гл. V. Х. х. х. МПТ снимают при всех видах испытаний: заводских, послеремонтных, приемо-сдаточных и профилактических (только

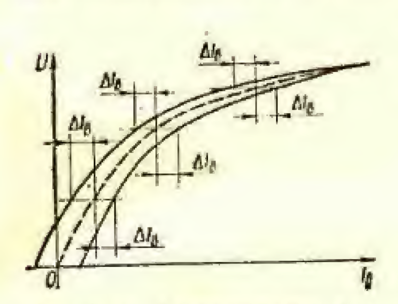


Рис. VI.18. Характеристика холостого хода МПТ.

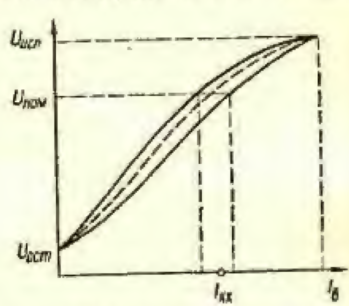


Рис. VI.19. Характеристика холостого хода МПТ с самовозбуждением.

для генераторов). Отклонения характеристики от ранее снятой не нормируются; практически они должны находиться в пределах точности измерительных приборов. На результаты снятия х. х. х. существенное влияние оказывают скорость вращения, положение щеток относительно нейтрали (характеристику следует снимать при одном и том же их положении) и способ возбуждения.

При сравнении характеристик, снятых в разное время, обязательно учитывать изменения условий снятия. Согласно ГОСТу 10159-69, х. х. х. можно определить как при независимом возбуждении, так и

при самовозбуждении. В последнем случае последовательная обмотка не должна нагружаться током возбуждения. У сериесных машин х. х. х. определяют только при независимом возбуждении.

Характеристика холостого хода МПТ вследствие гистерезиса имеет две ярко выраженные ветви — восходящую и нисходящую, снимаемые при плавном увеличении и уменьшении тока возбуждения $I_в$,

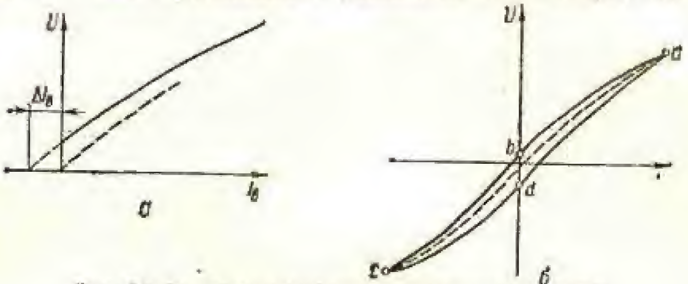


Рис. VI.20. Характеристики холостого хода МПТ:
а — нисходящая ветвь; *б* — полная кривая.

(рис. VI.18). Собственно х. х. х. (или средняя х. х. х.) — это кривая, абсциссы которой равны средним арифметическим абсцисс восходящей и нисходящей ветвей (пунктир на рис. VI.18). При независимом возбуждении эта кривая проходит через начало координат, при самовозбуждении она отсекает на оси ординат отрезок, соответствующий остаточному напряжению $U_{ост}$ (рис. VI.19). В своей верхней части кривые заканчиваются в точке, соответствующей напряжению, которым испытывается междувитковая изоляция $U_{исп}$.

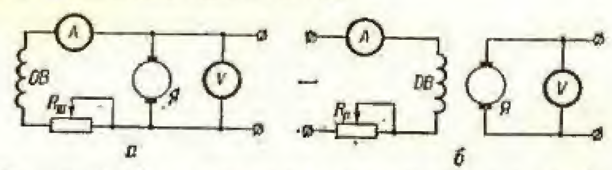


Рис. VI.21. Схема соединений при снятии х.х.х. МПТ с самовозбуждением (*а*) и с независимым возбуждением (*б*).

Согласно ГОСТу 10159-69, для МПТ можно снимать только нисходящую ветвь х. х. х., до $I_в = 0$. Среднюю характеристику получают, перемещая абсциссы всех точек нисходящей ветви вправо на величину $\Delta I_в$ (рис. VI.20, *а*), равную обратному току возбуждения, необходимому для полного размагничивания машины. Согласно ГОСТу 10159-69, при определении х. х. х. можно снимать полную замкнутую кривую, представляющую собой гистерезисный цикл (рис. VI.20, *б*). В этом цикле точка *а* является начальной и конечной. Х. х. х. снимается при независимом возбуждении. Полярность возбуждения изменяется в точках *b* и *d*. Схемы включения обмотки возбуждения *ОВ* и якоря *Я* при снятии х. х. х. приведены на рис. VI.21.

При снятии х. х. х. во время подъема напряжения необходимо следить за коммутацией щеток. При искрении необходимо снизить возбуждение. Только после устранения причины искрения можно продолжать испытания.

Генераторы постоянного тока в ряде случаев теряют способность к самовозбуждению. Это может быть вызвано неправильным присоединением параллельной обмотки, пропусканием тока обратной полярности по параллельной обмотке при испытаниях, размагничиванием и перемагничиванием полюсов при переходных процессах генераторов, питающих индуктивную нагрузку, несоответствием полярности остаточного магнетизма направлению вращения машины и др.

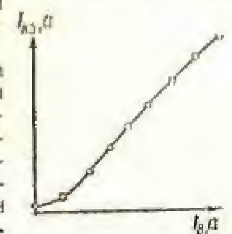


Рис. VI.22. Характеристика короткого замыкания МПТ.

Для восстановления остаточного магнетизма требуемой полярности следует на вращающейся машине, при отсоединенной обмотке возбуждения, проверить величину и полярность остаточного напряжения якоря. Если при подсоединении обмотки возбуждения напряжение снижается, необходимо переключить выводы обмотки возбуждения; если остаточное напряжение повышается незначительно, следует ненадолго зашунтировать шунтовой реостат и добавочные сопротивления в цепи возбуждения машины. При изменении полярности или полном исчезновении остаточного магнетизма намагничивание машины может быть выполнено пропусканием через обмотку возбуждения тока требуемой полярности величиной 0,2—0,3 $I_н$ от постороннего источника постоянного тока (аккумулятора, выпрямителя).

Характеристика короткого замыкания (х. к. з.) — зависимость тока якоря в режиме короткого замыкания от тока возбуждения $I_{я.к.з.} = f(I_в)$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ может быть использована для построения с помощью х. х. х. всех рабочих характеристик МПТ.



Рис. VI.23. Схема соединений при снятии х. к. з. МПТ.

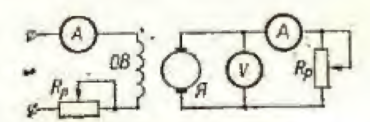


Рис. VI.24. Схема соединений для снятия внешней, регулировочной и нагрузочной характеристик МПТ.

Х. к. з. прямолинейна, за исключением начальной части, где существенное влияние оказывает переходный контакт щеток (рис. VI.22). Х. к. з. снимают при независимом возбуждении (рис. VI.23). При снятии х. к. з. необходимо принять меры против самовозбуждения машины за счет намагничивающих составляющих потока последовательной обмотки, реакции якоря и добавочных полюсов, ввести максимальную защиту и предусмотреть аварийное размыкание якорной цепи на случай самовозбуждения. Прохождение токов, значительно превышающих номинальный, при настройке аппаратов защиты допускается лишь в течение 2—5 *сек*.

Внешняя характеристика — это зависимость напряжения на зажимах генератора постоянного тока от тока нагрузки $U = f(I_{наг})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе независимого возбуждения или неизменном сопротивлении шунтового реостата при самовозбуждении (температура обмоток генератора постоянного тока должна быть близка

к расчетной). Схема определения внешней характеристики приведена на рис. VI.24.

По внешней характеристике (рис. VI.25, *а*) определяют величину изменения напряжения ΔU для любой точки характеристики при изменении нагрузки от 150% номинального значения до нуля (ГОСТ 10159-69):

$$\Delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100\,[\%], \qquad (VI.9)$$

где U — напряжение в данной точке характеристики.

При согласном включении последовательной обмотки возбуждения внешняя характеристика генератора постоянного тока может оказаться

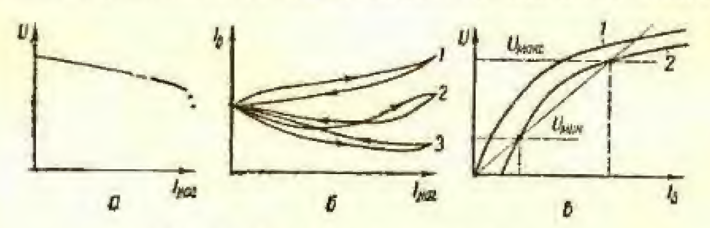


Рис. VI.25. Характеристики МПТ:
а — внешняя; *б* — регулировочная; *в* — нагрузочная.

выше, а при встречном — ниже, чем для случая, когда последовательной обмотки возбуждения нет.

Регулировочная характеристика — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки МПТ $I_в = f\,(I_{наг})$ при $n = const = n_{ном}$ и $U = const = U_{ном}$ (температура МПТ должна быть близка к расчетной).

При определении регулировочной характеристики обычно снимают одну ветвь при снижении тока нагрузки. Характеристику снимают при изменении тока нагрузки от 150% номинального значения до нуля.

По регулировочной характеристике определяют величину тока возбуждения, используемую при расчете потерь и к. п. д. Характеристику можно получить как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении (см. рис. VI.24).

Регулировочные характеристики при согласном (кривые *1*) и встречном (кривые *3*) включении последовательной обмотки и без нее (кривые *2*) приведены на рис. VI.25, *б*.

Нагрузочная характеристика — зависимость напряжения на зажимах МПТ от тока возбуждения $U = f\,(I_в)$ при $n = const = n_{ном}$ и неизменном токе якоря. Эта характеристика используется для определения плавности регулирования напряжения при нагрузке и для выбора ответвлений реостата регулирования возбуждения. Схема получения характеристики и сама характеристика приведены на рис. VI.24 и VI.25, *в*. На рис. VI.25, *в* кроме нагрузочной характеристики *2* для сравнения приведена х. х. х. *1*.

При приемо-сдаточных испытаниях возбудителей синхронных машин снимается нагрузочная характеристика при неизменном сопротивлении нагрузки (на ротор генератора).

Опытное определение характеристик машины постоянного тока в режиме двигателя

Определение характеристик при работе в режиме двигателя предусматривается программой типовых испытаний (ГОСТ 183-66).

При приемо-сдаточных испытаниях определяют на холостом ходу и под нагрузкой пределы регулирования скорости вращения двигателей и соответствие их проектным данным. В отдельных случаях снимают их характеристики.

Рабочая (скоростная) характеристика — зависимость скорости вращения от тока нагрузки $n = f\,(I_{наг})$ при $U = const = U_{ном}$, неизменном сопротивлении цепи возбуждения и температуре обмоток, близкой к расчетной. У шунтовых МПТ характеристику снимают при изменении тока от 150% номинального значения до нуля, у компаундных и сериесных машин минимальную нагрузку выбирают так, чтобы скорость вращения не превышала допустимую (ГОСТ 10159-69).

По рабочей характеристике определяют изменение скорости вращения аналогично тому, как определяют изменение напряжения по внешней характеристике генераторов постоянного тока.

Рис. VI.26. Скоростные характеристики двигателя с параллельным возбуждением:
1 — для двигателя с перекомпенсацией реакции якоря; *2* — для двигателя с нормальной компенсацией; *3* и *4* — для двигателя со слабой компенсацией реакции якоря.

Скоростные характеристики двигателей постоянного тока при различной степени влияния реакции якоря приведены на рис. VI.26, схема соединения — на рис. VI.27.

Регулировочной характеристикой называют зависимость тока возбуждения от тока нагрузки $I_в = f\,(I_{наг})$ при $n = const = n_{ном}$ и $U = const = U_{ном}$.

Однако часто при наладке электропривода снимают регулировочную характеристику $n = f\,(I_в)$ при $U = const = U_{ном}$ и постоянном

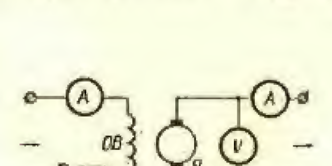


Рис. VI.27. Схема соединений для снятия скоростной и регулировочной характеристик двигателя постоянного тока.

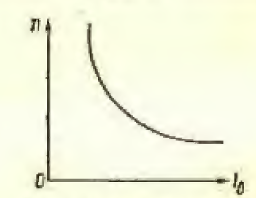


Рис. VI.28. Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока $n = f\,(I_в)$.

моменте сопротивления на валу (рис. VI.28). При снятии этой характеристики определяют пределы регулирования скорости вращения. В некоторых случаях снимается кривая зависимости скорости вращения от других величин (напряжения на зажимах двигателя, нагрузки на валу и т. п.), поскольку она необходима при наладке электропривода.

Электромашинные усилители

Электромашинные усилители (ЭМУ) по существу — машины постоянного тока. Однако им как элементам систем автоматического регулирования присущи некоторые особенности. Основными параметрами ЭМУ, характеризующими его как элемент автоматики, являются коэффициент усиления $K_у$ и постоянная времени T.

Наибольшее распространение в настоящее время получили ЭМУ с поперечным полем (рис. VI.29) (так называемые амплидины), так как они могут быть выполнены с наибольшим коэффициентом усиления ($K_у = 100—10\,000$) при наименьших $T = 0{,}1—0{,}3$ *сек*.

Рис. VI.29. Принципиальная схема ЭМУ поперечного поля.

В отличие от обычных МПТ, допустимое значение тока, проходящего через обмотки возбуждения ЭМУ (включаемые обычно навстречу друг другу) в течение длительного времени может превышать номинальное в 5—10 раз.

Наладка ЭМУ должна выполняться по следующей программе: 1) внешний осмотр и проверка механической части; 2) измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между собой; 3) измерение сопротивления постоянному току обмоток управления, якоря, компенсационной обмотки и шунтирующего сопротивления; 4) определение полярности выводов обмоток; 5) проверка направления вращения и притирка щеток; 6) установка щеток на электрическую нейтраль; 7) снятие х. х. х. и контроль соотношения числа витков обмоток управления; 8) снятие внешней характеристики и настройка компенсации; 9) снятие нагрузочной характеристики.

Рис. VI.30. Схема подключения обмоток ЭМУ к зажимам.

Схема подключения обмоток ЭМУ к зажимам приведена на рис. VI.30. Выводы обмоток ЭМУ имеют следующие обозначения: обмотки управления — OI_1OI_2, OII_1OII_2, $OIII_1OIII_2$, OIV_1OIV_2 (римские цифры обозначают номер обмотки, индекс 1 — начало, 2 — конец обмотки); продольные щетки — $Я_1$ и $Я_2$; обмотка добавочных полюсов — $Д_1$ и $Д_2$; компенсационная обмотка — K_1 и K_2.

Испытания по первым четырем пунктам проводятся так же, как и для МПТ.

Проверка направления вращения и притирка щеток

В ЭМУ не допускается вращение якоря в направлении, обратном указанному стрелкой. В связи с этим обычно первое включение приводного двигателя осуществляют кратковременным толчком.

Весьма существенное влияние на работу ЭМУ оказывает щеточный контакт. Притирка щеток к коллектору обычно проводится при длительном (5—10 *ч*) вращении ЭМУ на холостом ходу.

Установка щеток

Нейтраль ЭМУ поперечного поля проверяют с помощью импульсов постоянного тока, посылаемых в одну из обмоток управления, при включении милливольтметра между поперечными щетками, с которых должна быть снята закорачивающая перемычка. Если продольные и поперечные щетки укреплены на разных траверсах, продольные щетки устанавливают на нейтраль по подключенному к ним милливольтметру при подаче импульсов в цепь раскороченных поперечных щеток. Сдвиг щеток относительно нейтрали в сторону, противоположную вращению якоря, часто приводит к самовозбуждению и потере управления ЭМУ. Подобные явления иногда отмечают и при установке щеток на нейтрали. Сдвиг щеток по направлению вращения вызывает уменьшение коэффициента усиления ЭМУ (повышает крутизну внешней характеристики). Обычно щетки устанавливают со сдвигом относительно нейтрали 1,5—2 *электр. град* в сторону вращения.

Снятие характеристики холостого хода

Х. х. х. снимается так же, как у обычных МПТ (рис. VI.31) в диапазоне напряжений от +1,3 до —1,3 номинального. Помимо основной характеристики, снимаемой при питании одной из обмоток управления, находят несколько точек характеристики при поочередном питании каждой из остальных обмоток управления.

Определение соотношения витков обмоток управления

Соотношение витков обмоток управления проще всего определить при питании одной из них переменным током и измерении трансформируемых напряжений поочередно на всех остальных обмотках.

Отношение витков двух обмоток управления практически равно отношению напряжений на них

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2}, \qquad \text{(VI.10)}$$

так как обычно в ЭМУ зазоры невелики, а магнитопровод выполняется шихтованным.

Одновременно с определением соотношения витков по величине полного сопротивления выявляют витковые замыкания в обмотках.

Можно определить соотношение витков обмоток управления на основании обработки данных, полученных при снятии х. х. х. (см. рис. VI.31, *в*). Находя по характеристикам токи возбуждения

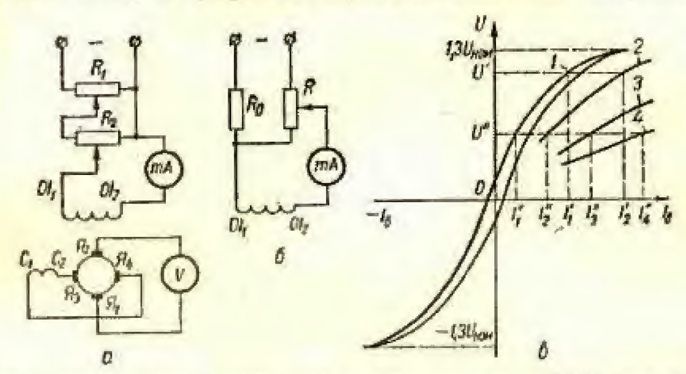


Рис. VI.31. Схемы испытаний на холостом ходу ЭМУ (*а* и *б*) и х. х. х. ЭМУ (*в*):

1 — основная характеристика, снятая полностью; *2*—*4* — дополнительные характеристики, снятые в зоне больших положительных напряжений.

разных обмоток управления, соответствующие одному и тому же напряжению на якоре, определяют соотношение витков

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2'}{I_1'}; \quad \frac{w_2}{w_3} = \frac{I_3'}{I_2'} \text{ и т. д.} \qquad \text{(VI.11)}$$

Настройка компенсации и определение рабочих характеристик ЭМУ

Размагничивающее действие реакции якоря ЭМУ компенсируется с помощью компенсационной обмотки, включенной последовательно в якорную цепь. В редких случаях, когда компенсация настраивается на заводе-изготовителе, возможность изменения ее не предусматривается в процессе наладки. Обычно вместе с ЭМУ завод-изготовитель поставляет регулировочное сопротивление, шунтирующее компенсационную обмотку. Размыкание цепи шунтирующего сопротивления или включение сопротивления большой величины (перекомпенсация) может привести к самовозбуждению ЭМУ, т. е. к самопроизвольному увеличению магнитного потока и, следовательно, напряжения и тока якоря при включении нагрузки. Полная компенсация, т. е. равенство намагничивающих сил реакции якоря и компенсационной обмотки, наступает при частичном выведении шунтирующего сопротивления; при таком режиме работы ЭМУ обладает большим коэффициентом усиления.

На практике чаще всего применяется режим недокомпенсации, когда намагничивающая сила реакции якоря превышает таковую компенсационной обмотки (КО). Существует несколько методов настройки компенсации ЭМУ.

Приближенная настройка. Основное внимание уделяют устойчивости работы ЭМУ при всех нагрузках (от холостого хода до короткого замыкания) и разных режимах возбуждения.

Компенсацию настраивают при отключенных обмотках управления (ОУ) с возбуждением от остаточного магнетизма. Предварительно путем кратковременного подмагничивания устанавливают остаточное напряжение на якоре при холостом ходе ЭМУ, равное 15% номинального. Шунтирующее сопротивление $R_ш$ полностью выводится, и якорь ЭМУ замыкается через обмотку добавочных полюсов ДО на регулировочный реостат $R_р$ (рис. VI.32).

Вводя постепенно шунтирующее сопротивление, добиваются того, чтобы ток якоря при всех значениях сопротивления регулировочного реостата, от нуля до размыкания его цепи, не превышал 20—25% номинального. Положение движка шунтирующего сопротивления фиксируется, и ЭМУ может быть включен в работу без опасения, что произойдет его самовозбуждение. Самостоятельного применения этот метод не имеет; им пользуются для настройки по одному из описанных ниже методов.

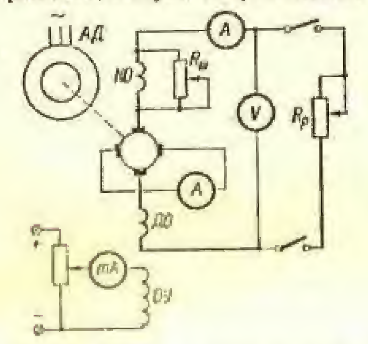


Рис. VI.32. Принципиальная схема настройки компенсации и снятия рабочих характеристик ЭМУ.

Рис. VI.33. Типовые внешние характеристики ЭМУ-2,5-3000:

1—*3* — при номинальном возбуждении, соответственно повышенной, нормальной и слабой компенсации реакции якоря; *4*—*6* — те же характеристики при пониженном возбуждении.

Для настройки компенсации путем снятия внешних характеристик собирают схему (рис. VI.32) и определяют зависимость напряжения на якоре от его тока, $U_я = f(I_я)$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе управления, соответствующем номинальному режиму работы ЭМУ (рис. VI.33).

В некоторых случаях требуемый наклон внешней характеристики определяется параметрами настройки системы автоматического регулирования, одним из элементов которой является ЭМУ. Перемещая движок шунтирующего сопротивления, добиваются нужной формы внешней характеристики, обеспечивая одновременно настройку компенсации. После установки движка снимают внешнюю характеристику при напряжении холостого хода, равном 25% номинального. Если она не свидетельствует о том, что наступил режим перекомпенсации, что иногда наблюдается при пониженном напряжении, настройку компенсации можно считать законченной. В противном случае выводится еще часть

шунтирующего сопротивления до получения недокомпенсированной характеристики при данном напряжении с наклоном 3—5%. Положение движка шунтирующего сопротивления фиксируется. Окончательно внешняя характеристика снимается при номинальном возбуждении и изменении тока нагрузки от нуля до 1,0—1,5 номинального.

Если нет специальных указаний о наклоне внешней характеристики, для нормальной работы ЭМУ степень компенсации следует выбирать такой, чтобы наклон этой характеристики составлял 15—20% при номинальном возбуждении с последующей проверкой отсутствия перекомпенсации при пониженном напряжении.

Настройка компенсации с помощью нагрузочной характеристики

Этот метод применим для ЭМУ, работающих на постоянное сопротивление (ЭМУ — возбудители МПТ в системе генератор — двигатель и др.).

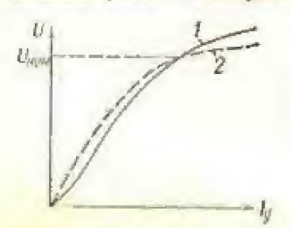


Рис. VI.34. Характеристики ЭМУ, снятые при настройке компенсации:

1 — холостого хода, 2 — нагрузочная.

При работе ЭМУ на это сопротивление снимают ряд нагрузочных характеристик $U = f(I_y)$, где I_y — ток обмотки управления, при разных положениях движка шунтирующего сопротивления, добиваясь получения характеристики, близкой по форме к соответствующей х. х. х. Если полученная нагрузочная характеристика совпадает с х. х. х. в точке номинального напряжения и лежит выше ее при меньших напряжениях и ниже при больших (рис. VI.34), настройку компенсации можно считать законченной.

Для надежности нагрузочные характеристики следует снять при возбуждении от других обмоток управления, отличающихся от первой числом витков, и сравнить их с соответствующими х. х. х.

Определение постоянных времени ЭМУ

Поскольку ЭМУ — элемент системы автоматического регулирования, значительный интерес при выборе настроек и расчете динамических характеристик вызывают коэффициент усиления и постоянные времени ЭМУ. В первом приближении ЭМУ поперечного поля представляет собой двухъемкостное звено, которое для удобства анализа может быть разбито на два апериодических (одноемкостных) звена: первое, состоящее из обмотки управления и поперечной цепи якоря с коэффициентом усиления по напряжению K_{U1}, постоянной времени T_1, и второе, образованное поперечной и продольной цепями якоря, с параметрами K_{U2} и T_2.

Если обмотку управления подключить толчком к источнику постоянного напряжения, ток в этой обмотке и напряжение на разомкнутых поперечных щетках будут возрастать в течение времени t по экспоненциальному закону с постоянной времени T_1 (рис. VI.35), отношение установившегося напряжения на этих щетках к напряжению, подключенному к обмотке управления, равно коэффициенту усиления K_{U1}.

При подаче толчком напряжения на разомкнутые поперечные щетки аналогично возрастает напряжение на продольных щетках якоря. В этом случае постоянная времени — T_2, коэффициент усиления — K_{U2}.

Коэффициенты K_{U1} и K_{U2} можно определить в установившемся режиме, измеряя напряжение при указанных выше условиях на обмотке управления и якоре. Постоянные времени могут быть определены

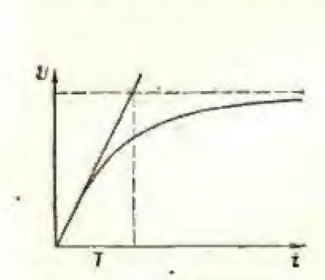


Рис. VI.35. Графическое определение постоянной времени ЭМУ.

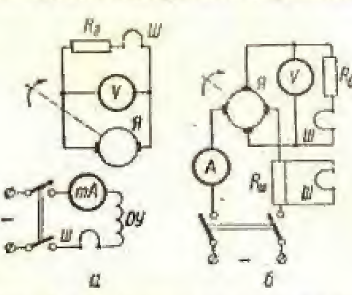


Рис. VI.36. Схемы определения постоянных времени ЭМУ поперечного поля:

а — обмотки управления, б — поперечной цепи якоря.

по записи на пленку осциллографа изменения напряжения на щетках с последующим построением касательной в начальной точке экспоненты.

Схемы, по которым проводят осциллографирование, показаны на рис. VI.36. Обозначены места включения шлейфов осциллографа *Ш*, дополнительных сопротивлений $R_д$ и шунтов $R_ш$.

При наладке ЭМУ следует иметь в виду, что благодаря большой индуктивности обмоток управления разрыв цепей обмотки управления, находящейся под током, опасен для персонала, а также для изоляции обмотки и подключенных к обмотке приборов. Поэтому разрыв цепи обмотки управления, находящейся под током, допустим при включении гасительного сопротивления параллельно обмотке.

Тахогенераторы

Тахогенераторами (ТГ) принято называть генераторы постоянного (реже переменного) тока небольшой мощности, механически сочлененные с приводом и используемые для контроля скорости вращения. Наладка ТГ, кроме испытаний общего характера, описанных в настоящей главе, имеет некоторые специфические особенности, рассматриваемые ниже.

Характеристики ТГ необходимо снимать до сочленения ТГ с механизмами. Для привода используют небольшой двигатель постоянного тока с широким диапазоном регулирования скорости.

В первую очередь рекомендуется определять характеристику намагничивания $E = f(I_в)$ при неизменной скорости n. При этом нужно, чтобы скорость n была близка к рабочей скорости привода. По характеристике намагничивания уточняют величину тока возбуждения, принимаемого в качестве номинального. Вследствие действия остаточного

магнетизма при одинаковых скорости и токе возбуждения величины напряжения ТГ могут отличаться на 1—3%.

Далее определяют скоростные характеристики $E = f(n)$ при неизменном номинальном токе возбуждения. Его повышают первоначально до величины, равной 120% номинального, затем снижают до номинального, после чего ступенями увеличивают скорость и снимают характеристику $E = f(n)$. Затем скорость и ток возбуждения уменьшают до нуля. Далее ток возбуждения вновь повышают до номинального значения и вновь снимают характеристику $E = f(n)$. Скоростная характеристика, по которой градуируются таховольтметры, принимается средней между двумя снятыми характеристиками.

Если в нормальном рабочем режиме нагрузка на якоре ТГ не изменяется, то аналогично описанному выше определяется скоростная характеристика $U = f(n)$ при постоянном сопротивлении нагрузки.

Наконец, в приводах с переменной нагрузкой на ТГ снимаются внешние характеристики $U = f(I)$ при неизменных скорости и токе возбуждения. Ток якоря изменяется подключенным к ТГ реостатом, имитирующим нагрузку.

После сочленения ТГ с приводом следует проверить его центровку, точность которой позволяет свести к минимуму оборотные пульсации напряжения.

Глава VII

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Объемы испытаний

Все вводимые в эксплуатацию синхронные генераторы (СГ) и синхронные компенсаторы (СК) предварительно подвергаются приемо-сдаточным испытаниям согласно ПУЭ в следующем объеме.

1. Определение возможности включения без сушки СГ напряжением выше 1000 *в*. Условия включения синхронных машин (СМ) без сушки, методика измерений и нормы для оценки состояния изоляции в соответствии с «Инструкцией по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки» (СН 241-63) приведены в гл. V.

2. Определение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, возбудителя и подвозбудителя, бандажей якоря возбудителя и подвозбудителя, подшипников генератора и возбудителя, термоиндикаторов, цепей возбуждения генератора и возбудителя со всеми присоединенными аппаратами.

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции обмоток статора, ротора, якоря возбудителя и подвозбудителя, цепей возбуждения генератора и возбудителя со всеми присоединенными аппаратами, реостатов возбуждения и сопротивлений гашения поля.

4. Измерение сопротивления постоянному току обмоток статора, ротора, возбуждения возбудителя, якоря возбудителя, сопротивления гашения поля, реостата возбуждения.

5. Измерение сопротивления обмотки ротора на переменном токе (допустимо для явнополюсных роторов) с целью выявления витковых замыканий. Измеряют сопротивление у каждого полюса в отдельности или у двух полюсов вместе при напряжении не более 220 *в*. Чтобы результаты последующих измерений можно было сравнить, измерения следует выполнять при аналогичном состоянии машины (вставленный или выведенный ротор, разомкнутая или закороченная обмотка статора). Отклонения от предыдущих данных измерения или от среднего значения сопротивления полюсов должны находиться в пределах ошибки измерения.

6. Измерение величины воздушного зазора: а) между статором и ротором генератора; б) между полюсами и якорем возбудителя.

Размеры зазоров между статором и ротором генератора в диаметрально противоположных точках не должны отличаться друг от друга более чем на ±10% их среднего значения (равного полусумме) для турбогенераторов и на ±20% для гидрогенераторов.

Размеры зазоров между полюсами и якорем возбудителя в диаметрально противоположных точках не должны отличаться друг от друга более чем на ±10% среднего значения.

Воздушный зазор у явнополюсных машин измеряют под всеми полюсами.

7. Снятие характеристик генератора: а) трехфазного короткого замыкания, б) холостого хода (для СК выполняется, если есть разгонный электродвигатель).

8. Снятие характеристик возбудителя: а) холостого хода, б) нагрузочной.

9. Измерение остаточного напряжения генератора при отключенном автомате гашения поля (АГП) в цепи ротора. Величина остаточного напряжения не нормируется.

10. Испытание на нагрев (проводится при нагрузках 60, 75, 90 и 100%).

11. Определение реактивных сопротивлений и постоянных времени генераторов. Производится для генераторов 50 *Мвт* и более.

12. Измерение вибрации подшипников СГ и СК.

13. Испытание газоохладителей гидравлическим давлением.

14. Проверка герметичности ротора, статора и всего генератора в собранном виде. Выполняется для турбогенераторов и компенсаторов с водородным охлаждением в соответствии с заводской инструкцией.

15. Проверка плотности водяной системы охлаждения обмотки статора. Осуществляется для турбогенераторов с водяным охлаждением обмотки статора в соответствии с заводской инструкцией.

16. Контрольный анализ состава газа. Проводится для СГ и СК с водородным охлаждением. Содержание водорода по объему должно быть не менее 99,5%. Недопустимо, чтобы в водороде был сероводород.

17. Проверка качества охлаждающей воды. Осуществляется для генераторов с водяным охлаждением. Проверяется, соответствует ли качество воды, циркулирующей в системе охлаждения обмоток генератора, требованиям заводских инструкций.

Испытания генераторов напряжением выше 1000 *в*, мощностью больше 12,5 *Мвт* производятся в полном объеме; генераторов мощностью до 12,5 *Мвт* — по п. 1—4; 6; 7б; 8а; генераторов напряжением ниже 1000 *в* — по п. 2—4; 6; 7б; 8а.

Объемы приемо-сдаточных испытаний, предусмотренные ГОСТом 533-68 для турбогенераторов, ГОСТом 5616-63 — гидрогенераторов и ГОСТом 609-66 для синхронных компенсаторов, не имеют существенных отличий от приведенных выше объемов испытаний в соответствии с ПУЭ.

Объемы и нормы испытаний синхронных двигателей приведены в гл. VIII. Методика испытаний машин постоянного тока приведена в гл. VI.

Помимо перечисленных испытаний, в отдельных случаях выполняются дополнительные испытания, методика проведения которых рассматривается в настоящей главе.

Внешний осмотр и проверка механической части

При внешнем осмотре и проверке механической части СМ следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в гл. V. Особое внимание должно быть обращено на чистоту машины, внешнее состояние изоляции, крепление лобовых частей обмотки, состояние контактных колец, правильность выполнения системы вентиляции и масляного хозяйства.

При значительной загрязненности машину следует продуть сжатым воздухом, протереть обмотку и проверить, нет ли на ней следов масла. Проверить, прочна ли лаковая пленка изоляции обмотки. Сама изоляция должна быть эластичной, нехрупкой, без задиров или забоин.

Осмотр рекомендуется производить по отдельным частям машины: статору, ротору, возбудителю, системе вентиляции, маслохозяйству.

У статора проверяют целость изоляции и состояние лобовых частей обмотки, изоляции выводных концов, проводки от термопар и термометров сопротивления в доступных местах. Проверяют, на местах ли все заглушки на отверстиях в корпусе статора и прокладки под ними, нет ли в камерах и отсеках корпуса посторонних предметов, мусора.

Необходимо убедиться, что крепление лобовых частей обмотки надежно, все шпагатные бандажи и распорки между ними на месте и в исправном состоянии. Если нужно — подтянуть болты или шпагат. Места механических повреждений изоляции отметить.

При осмотре ротора проверяют состояние контактных колец, их изоляции, щеточного аппарата, шеек вала, прочность крепления балансировочных грузов. Отмечают, чистая ли поверхность контактных колец, нет ли царапин, окалины на боковой поверхности, трещин, забоин, не попало ли на них масло. Изоляция колец друг от друга и от корпуса не должна иметь видимых нарушений и загрязнения.

Осматривая щеточный аппарат, проверяют соответствие марки, размеров и количества щеток требованиям завода-изготовителя, крепление щеткодержателей на траверсе, присоединение поводков щеток к кольцам траверсы, равномерный и допустимый нажим щеток. Давление щеток на кольцо должно соответствовать ГОСТу и техническим условиям на щетки (табл. VI.1 и VII.1). Посадка щеток считается правильной, если они сидят в обоймах щеткодержателей свободно, но без слабины, не свешиваясь за край контактных колец; расстояние щетки от края не меньше величины допустимого осевого разбега вала.

Таблица VII.1

Рекомендации по применению электрощеток СМ

Окружная скорость, *м/сек*	Плотность тока, *а/см²*	Рекомендуемые марки щеток: основные	Рекомендуемые марки щеток: дополнительные
До 15	До 8	Г3, Г2	—
До 25	10—12	МГ4, ЭГ4	Г3, Г8, М6, М2, М3, М20 ЭГ-83
25—40	До 10	ЭГ, ЭГ14, ЭГ11, ЭГ12	
Больше 40	До 9	ЭГ-83	

При затянутых стопорных приспособлениях траверса плотно сидит в своем гнезде. Расстояние между нижними краями обойм щеткодержателей и поверхностью контактных колец обычно 2—3 *мм*. Шейки вала должны быть очищены от грязи, ржавчины, без царапин, забоин и прочих повреждений.

Если есть вентилятор или вентиляционные лопатки на роторе, проверяется затяжка болтов или гаек, которыми они прикреплены, и крепление балансировочных грузиков. В местах горячей посадки бандажей и центрирующих колец ротора не должно быть контактной коррозии, трещин и других механических повреждений.

У роторов явнополюсных машин проверяют плотность установки междуполюсных распорок, отсутствие забоин на поверхности обмотки, выполняемой голой медью, гнутой на высокое ребро.

В системе вентиляции следует обращать внимание на то, чтобы воздушные каналы были чистыми и не содержали предметов и устройств, уменьшающих их проектное сечение, чтобы у фильтров не было щелей. Фильтры должны быть снабжены микроманометрами для контроля загрязненности по разрежению.

При осмотре масляного хозяйства у подшипников проверяют уплотнения, препятствующие вытеканию масла, убеждаются в том, что смазочные кольца находятся на своих местах и свободно висят на валу, что скребок, снимающий масло с диска (при дисковой смазке), свободно стоит в гнезде, что отверстие для стока масла не засорено.

Измерение сопротивления изоляции

Методика измерений рассмотрена в гл. III и V. Сопротивление изоляции обмоток ЭМ относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей температуре машины в соответствии с ГОСТом 183-66 должно быть не ниже величины, определяемой по (V.1).

Величины сопротивления изоляции, согласно ПУЭ, приведены в табл. VII.2.

Таблица VII.2

Предельные величины сопротивления изоляции элементов СМ

Испытуемый объект	Напряжение мегомметра, *в*	Предельные величины сопротивления
Обмотка статора напряжением 1000 *в* и ниже (каждая фаза относительно корпуса и двух других заземленных фаз)	2500	Не менее 0,5 *Мом* при $t = 10 \div 30°$ C
Обмотка ротора машин напряжением 1000 *в* и ниже	1000 (допускается 500 *в*)	Включение генератора допускается, если при $t = 75°$ C сопротивление изоляции не менее 2000 *ом* или при 20° C — 20000 *ом*
Цепи возбуждения генератора и возбудителя со всеми присоединенными аппаратами (без обмоток ротора и возбудителя)	1000 (допускается 500 *в*)	Не менее 1 *Мом*
Обмотки возбудителя и подвозбудителя (относительно корпуса и бандажей)	1000	Не менее 0,5 *Мом* при $t = 10 \div 30°$ C
Бандажи якоря возбудителя и подвозбудителя	1000	Не нормируется
Подшипники генератора и возбудителя	1000	Не менее 0,3 *Мом* для гидрогенераторов и 1,0 *Мом* для турбогенераторов
Термодетекторы	250	Не нормируется

Сопротивление изоляции изолированных подшипников при полностью собранных маслопроводах проверяют мегомметром при монтаже. Чтобы исключить влияние соприкосновения вала с подшипником вал СМ со стороны возбудителя приподнимают подъемным краном, под шейку подкладывают изоляционный картон. Если под изолируемый подшипник положены два слоя изоляции, между которыми имеется лист из стали или другого электропроводящего материала, сопротивление изоляции можно контролировать без разборки подшипника.

Маслопроводы присоединяют к подшипнику через короткие патрубки, изолированные с обеих сторон. Это позволяет проверить сопротивление изоляции маслопровода, не вскрывая подшипника. У гидрогенераторов контролируют сопротивление изоляции подпятника и направляющих подшипников, если это позволяет их конструкция.

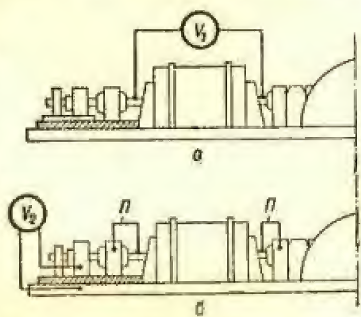


Рис. VII.1. Определение состояния изоляции подшипника турбогенератора во время его работы:

а — измерение напряжения на концах вала; *б* — измерение напряжения между стойкой подшипника и фундаментной плитой (*П* — перемычка для шунтирования масляной пленки).

Для проверки изоляции подшипников в процессе работы СМ электрическое напряжение между концами вала ротора измеряют вольтметром с малым внутренним сопротивлением и низкими пределами измерения. При этом применяют метод двух последовательных измерений напряжения в контуре (рис. VII.1).

При первом измерении определяют напряжение U_1 на концах вала ротора, при втором — напряжение U_2 между фундаментной плитой и корпусом подшипника со стороны возбудителя. Величину U_2 измеряют при закороченных масляных пленках в обоих подшипниках СМ. Если изоляция подшипника исправна, $U_1 = U_2$. Различие напряжений больше чем на 10% указывает на неисправность изоляции. Напряжение U_2 при измерении должно быть меньше напряжения U_1.

Описанный выше вольтметр можно заменить вольтметром на большие пределы измерения, включенным через повысительный трансформатор (например, на 220/12 *в*).

Сопротивление изоляции температурных детекторов измеряют вместе с сопротивлением проводов, соединяющих измерительный прибор и температурный детектор, и сопротивлением соединительных проводов, уложенных внутри машины. Измерение осуществляют мегомметром на напряжение 250 *в*. Сопротивление изоляции не нормируется, обычно оно не меньше 0,5 *Мом*.

Испытание электрической прочности изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Методика испытаний рассмотрена в гл. III и V. Величины испытательных напряжений приведены в табл. VII.3. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

Таблица VII.3

Напряжение промышленной частоты, рекомендуемое для испытания изоляции СМ

Испытуемый объект	Испытательное напряжение промышленной частоты согласно ПУЭ (действующее значение), *в*	Примечание
Обмотка статора: для машин мощностью 3—1000 *квт* при $U_{ном} > 36$ *в*	$0{,}75 \cdot (2U_{ном} + 1000)$, но не ниже 1100 *в*	
для машин мощностью > 1000 *квт* и $U_{ном} \leqslant 3300$ *в*	$0{,}75 \cdot (2U_{ном} + 1000)$	
То же при $3300 < U_{ном} \leqslant 6600$ *в*	$0{,}75 \cdot 2{,}5\ U_{ном}$	
То же при $U_{ном} > 6600$ *в*	$0{,}75 \cdot (2U_{ном} + 3000)$	
Обмотки явнополюсных роторов	$7{,}5\ U_{ном}$ возбуждения генератора (но не ниже 1100 *в*)	Согласно ГОСТу 183-66, заводское испытательное напряжение обмоток возбуждения синхронных генераторов — $10U_{ном}$ возбудительной системы (но не ниже 1500 и не выше 3500 *в*).
Обмотки неявнополюсных роторов	1000 *в* (если это не противоречит техническим условиям завода-изготовителя)	То же
Обмотки якоря возбудителя и подвозбудителя (относительно корпуса и бандажей)	$7{,}5\ U_{ном}$ возбуждения генератора (но не ниже 1100 и не выше 2600 *в*)	Согласно ГОСТу 183-66, заводское испытательное напряжение возбудителей для синхронных двигателей и синхронных компенсаторов $10U_{ном}$ (но не ниже 1500 *в*).
Цепи возбуждения генератора и возбудителя со всеми присоединенными аппаратами (без обмоток ротора и возбудителя)	1000	
Реостаты возбуждения	1000	
Сопротивления гашения поля	2000	

Приведенные в табл. VII.3 величины испытательных напряжений изоляции обмоток СМ составляют 75% заводских испытательных напряжений. Согласно ГОСТу 183-66, изоляцию обмоток турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов на месте установки перед сдачей в эксплуатацию испытывают повышенным напряжением промышленной частоты, равным 80% заводского испытательного напряжения. (Для остальных машин такое испытание проводят по усмотрению заказчика.)

Испытание изоляции обмоток статора генераторов рекомендуется осуществлять до ввода ротора в статор (для гидрогенераторов после стыковки статора) и при этом проводить наблюдение за состоянием лобовых частей машины. После испытания изоляции обмотки статора в течение 1 *мин* у генераторов напряжением 10 *кв* и выше испытательное напряжение снижается до номинального напряжения генератора и выдерживается в течение 5 *мин* для наблюдения за коронированием лобовых частей обмоток статора.

Изоляция обмотки ротора турбогенераторов испытывается при номинальной скорости вращения ротора. Перед вводом машины в работу (после введения ротора в статор и установки торцовых щитов) проводится контрольное испытание изоляции обмотки статора переменным напряжением величиной $U_{ном}$ или выпрямленным напряжением величиной $1{,}5\ U_{ном}$. Продолжительность испытания — 1 *мин*.

Измерение сопротивления постоянному току элементов синхронных машин

Методика измерений рассмотрена в гл. II и V.

Предельные величины допустимых отклонений сопротивления постоянному току приведены в табл. VII.4.

При измерении сопротивления обмоток ротора для создания надежного контакта в токовых цепях применяют хомуты с болтовыми соединениями в местах разъема, надеваемые на зачищенные кольца ротора.

Проверка правильности маркировки выводов и полярности обмоток

В табл. VII.5 приведены обозначения выводов обмоток ЭМ трехфазного переменного тока (ГОСТ 183-66). У машин, предназначенных для одного определенного направления вращения, порядок чередования обозначений выводов соответствует порядку следования фаз при данном направлении вращения.

Выводы машин переменного тока с составными и секционированными обмотками обозначают теми же буквами, что и простые обмотки (см. табл. VII.5), с дополнительными цифрами впереди. Так, при двух обмотках на статоре выводы первой обмотки обозначаются: 1С1; 1С2; 1С3; 1С4; 1С5 и 1С6; выводы второй обмотки — 2С1; 2С2; 2С3; 2С4; 2С5 и 2С6. Выводы асинхронных двигателей, имеющих секционированные обмотки для изменения числа полюсов, обозначают теми же буквами, что и простые обмотки, с дополнительными цифрами впереди, указывающими на число полюсов данной секции. Пример обозначения выводов для двигателей с четырьмя скоростями вращения приведен в табл. VII.6.

Таблица VII.4

Допустимые отклонения сопротивлений постоянному току элементов СМ

Испытуемый объект	Вид и условия испытаний	Отклонения, %
Обмотка статора генератора мощностью:	Для каждой фазы или ветви в отдельности. В холодном состоянии	
100 *Мвт* и более		1
меньше 100 *Мвт*		2
разница между ветвями		5
Обмотка ротора с явными полюсами	Для каждого полюса в отдельности или попарно и для переходного контакта между катушками	2
Обмотка возбуждения возбудителя	—	
Обмотка якоря возбудителя для генератора мощностью 12,5 *Мвт* и более	Измерения между коллекторными пластинами	10 (за исключением закономерных колебаний)
Сопротивления гашения поля, реостатов возбуждения и шунтового реостата	—	10

Таблица VII.5

Обозначение выводов обмоток ЭМ трехфазного переменного тока

Схема соединений обмоток	Число выводов	Название	Обозначение	
			начала	конца
Обмотка статора (якоря): открытая схема	6	Первая фаза	C1	C4
		Вторая »	C2	C5
		Третья »	C3	C6
соединение в звезду	3 или 4	Первая »	C1	
		Вторая »	C2	
		Третья »	C3	
		Нулевая точка	0	
соединение в треугольник	3	Первый зажим	C1	
		Второй »	C2	
		Третий »	C3	
Обмотка возбуждения (индукторов) СМ	2	—	И1	И2

Таблица VII.6

Обозначения выводов асинхронных двигателей с четырьмя скоростями вращения

Число полюсов	Обозначение выводов
4	4C1, 4C2, 4C3
6	6C1, 6C2, 6C3
8	8C1, 8C2, 8C3
12	12C1, 12C2, 12C3

Обозначение выводов обмоток ротора трехфазных асинхронных двигателей приведено в табл. VII.7. Расположение колец должно быть в порядке цифр, указанных в табл. VII.7, а кольцо P1 должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора.

Таблица VII.7

Обозначение выводов обмоток ротора трехфазных асинхронных двигателей

Число выводов на контактных кольцах	Название	Обозначение
3	Первая фаза	P1
	Вторая »	P2
	Третья »	P3
4	Первая фаза	P1
	Вторая »	P2
	Третья »	P3
	Нулевая точка	0

Обозначения выводов обмоток однофазных машин приведены в табл. VII.8.

Таблица VII.8

Обозначения выводов обмоток однофазных машин

Число выводов	Название	Обозначение	
		начала	конца
2	Обмотка статора (якоря) синхронных машин	C1	C2
	Обмотка статора асинхронных двигателей:		
2	главная	C1	C2
2	пусковая	П1	П2
2	Обмотка возбуждения (индуктора) синхронных машин	И1	И2

Методы проверки правильности маркировки выводов и полярности обмоток приведены в гл. VIII.

Определение порядка чередования фаз обмотки статора и направления вращения ротора двигателя

Наиболее простым стационарным методом определения порядка чередования фаз обмотки статора трехфазных ЭМ является метод импульсов постоянного тока (рис. VII.2, *а*). Отличительная особенность

этого метода состоит в подаче импульсов постоянного тока в обмотку возбуждения, ось которой может свободно перемещаться в плоскости, перпендикулярной валу. Согласно рис. VII.2, *а*, источник постоянного тока напряжением 2—4 *в* (аккумулятор, сухой элемент и т. п.) через прерыватель присоединяют к *ОВ*. Универсальный магнитоэлектрический вольтметр поочередно подключают одним зажимом к началу трех фаз, а другим — к нулевой точке *ОС*.

Оси обмоток фаз смещены между собой на 120 *электр. град*, поэтому при подаче импульсов в одной из фаз всегда будет индуктироваться

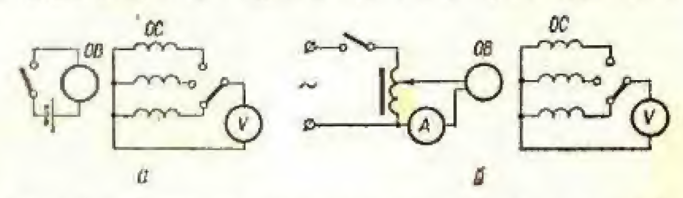


Рис. VII.2. Схемы для определения порядка чередования фаз синхронного генератора:

а — методом импульсов постоянного тока; *б* — методом переменного тока.

э. д. с., отличающаяся по знаку от э. д. с. других фаз. Фаза, в которой э. д. с. отличается знаком от других, может быть выделена и условно названа первой. Затем ротор генератора с помощью валоповоротного устройства (или другим способом) поворачивают на 120 *электр. град* в направлении вращения вала, т. е. на 120; 60 и 40° для машин с номинальными скоростями вращения, соответственно равными 3000, 1500 и 1000 *об/мин*. После этого опыт повторяют с соблюдением полярности импульсов, подаваемых в обмотку возбуждения. Э. д. с., отличающаяся по знаку от двух других, будет находиться в фазе, которая непосредственно следует за первой.

Таблица VII.9

К определению чередования фаз СМ

Угол поворота ротора, *электр. град*	Фаза		
	A	*B*	*C*
0	+	+	—
120	—	+	+
240	+	—	+

Для контроля желательно провести третий опыт после поворота вала еще на 120 *электр. град* в сторону вращения. Углы проще всего отсчитывать со стороны коллектора возбудителя, где щеточные ряды делят окружность практически на равные части.

Применяя этот метод для соединения фаз *ОС* в треугольник или звезду без выведенной нулевой точки, зажимы вольтметра поочередно подключают к выводам обмотки в следующей последовательности: *А—В*, *В—С*, *С—А*. Фазы, обозначенные первыми буквами, присоединяют к зажиму вольтметра, который принят за начало. Условные обозначения *А*, *В*, *С* предварительно наносят на выводы обмотки. Полученные знаки э. д. с., измеренные между выводами *А—В*, *В—С* и *С—А* при различных положениях ротора, записывают в таблицу, аналогичную табл. VII.9.

Когда машины работают в блоке с трансформаторами, порядок чередования фаз сети легче проверять с высокой стороны; после маркировки выводов опыт желательно повторить, измерив э. д. с., индуктируемые за трансформатором. Это удобно делать на вторичной стороне ТН.

Применение метода импульсов постоянного тока ограничено быстроходными ЭМ, поэтому кроме него используют метод переменного тока (рис. VII.2, *б*).

В обмотку возбуждения через регулировочный *АТ* подают небольшой ток промышленной частоты. При этом в фазах *А*, *В*, *С* индуктируемые напряжения с некоторым допущением могут быть определены из следующих выражений:

$$\left.\begin{aligned} U_A &= U_{\text{макс}} \cos\alpha, \\ U_B &= U_{\text{макс}} \cos(\alpha - 120^\circ), \\ U_C &= U_{\text{макс}} \cos(\alpha - 240^\circ), \end{aligned}\right\} \qquad \text{(VII.1)}$$

где $U_{\text{макс}}$ — напряжение, индуктируемое в фазе при совпадении ее оси с осью обмотки возбуждения, т. е. когда угол между осями $\alpha = 0$.

К началу одной из фаз *ОС*, принимаемой условно за первую, и к нулевой точке присоединяют многопредельный вольтметр переменного тока. Плавно перемещая ротор генератора в направлении вращения, добиваются отклонения стрелки прибора, близкого к максимальному. На двух других фазах устанавливается примерно одинаковое по величине напряжение, равное $^1/_2\, U_{\text{макс}}$. Если затем ротор медленно поворачивать в том же направлении, в диапазоне 0—30 *электр. град*, в фазе, непосредственно следующей за первой, напряжение будет уменьшаться до нуля, а в третьей фазе — возрастать. Таким образом, по характеру изменения показаний вольтметра, включенного на одну из этих фаз, можно судить, является ли фаза второй или третьей.

При измерениях удобно пользоваться двумя вольтметрами одновременно. Опыт должен быть повторен два-три раза для исключения случайных ошибок при резком повороте ротора, особенно у машин с большим числом полюсов.

Если машина имеет только три вывода *ОС*, вольтметр подключают вначале к любым двум выводам, принимаемым за *А* и *В*. Поворачивая ротор, добиваются такого его положения, при котором максимально отклоняется стрелка прибора. Затем вольтметр подсоединяют к выводам *В* и *С*. При дальнейшем медленном повороте ротора показания прибора уменьшаются и можно заключить, что выводы обозначены правильно. Если же показания возрастают, обозначения любых двух выводов следует поменять местами и повторить опыт.

Для блоков генератор — трансформатор или трансформатор — двигатель измерения проводят на высокой стороне трансформатора. Вольтметр включают через трансформаторы напряжения. Определению порядка чередования фаз стационарными методами всегда должно предшествовать измерение сопротивления изоляции обмоток, сопротивления их постоянному току, а также определение или проверка правильности обозначения начала и конца фаз.

Определение последовательности чередования фаз возможно при осмотре расположения фаз на статоре и выяснения последовательности прохождения мимо фазных обмоток полюса ротора. При осмотре выслеживают (начиная от выводов) вход в пазы начала всех фаз *ОС*. Зная направление вращения ротора, определяют последовательность, в какой, вращаясь в данном направлении, ротор пройдет мимо начала фазных обмоток.

Последовательность чередования фаз можно определить методом индикатора высокого напряжения. Подавая поочередно на каждую

фазу высокое напряжение (в процессе испытания изоляции) индикатором, подносимым к лобовым частям обмотки, находят последовательность расположения фазных обмоток.

Порядок чередования фаз генератора чаще всего проверяют фазоуказателем (или эталонным вспомогательным трехфазным АД с короткозамкнутым ротором), подключаемым либо непосредственно, либо через вспомогательный трансформатор.

Направление вращения ротора у СД определяется последовательностью чередования фаз. Для определения направления вращения ротора проводят следующий опыт.

В обмотку ротора подают постоянный ток, по величине равный 5—10% номинального. К статору подключают указатель чередования фаз. Во время поворота ротора в требуемом направлении фазоуказатель получает напряжение, достаточное для слабого вращения его диска.

Отметив выводы статора по маркировке указателя, этим же прибором проверяют чередование фаз питающего кабеля (или шин). Затем подключают кабель (или шины) к соответствующим (по маркировке) выводам статора.

Для двигателей высокого напряжения ФУ при проверке чередования фаз питающего кабеля (шин) подключают через трансформаторы напряжения. Для двигателей низкого напряжения напряжение на зажимах ФУ можно увеличить, подключив его к статору через два небольших трансформатора напряжением 220/12 *в*.

Порядок чередования фаз *ОС* двигателя может быть определен методами импульсов постоянного тока или подачей в *ОВ* переменного тока (как описано для генераторов).

Сравнивая определенный одним из этих способов порядок чередования фаз двигателя с порядком чередования фаз питающей сети, можно предопределить направление вращения двигателя.

Снятие характеристик синхронных машин

Характеристика холостого хода

X. х. х. генератора выражает зависимость напряжения на зажимах статора U_0 от тока возбуждения $I_в$ при постоянном числе оборотов и отсутствии нагрузки. Основные сведения о методике снятия этой характеристики приведены в гл. V. X. х. х. синхронных машин можно снимать в режимах генератора и двигателя, но рекомендуется режим генератора.

Согласно ГОСТу 10169-68, у СМ с самовозбуждением, имеющих доступные выводы ОВ (например, контактные кольца), х. х. х. снимают при питании ОВ от постороннего источника.

Для получения х. х. х. в режиме генератора СМ приводят во вращение с номинальной скоростью при помощи первичного двигателя. Характеристику снимают при убывающем токе возбуждения.

Остаточное напряжение генератора измеряют, снижая ток возбуждения до нуля. При необходимости снятую характеристику смещают по оси абсцисс на величину $\Delta I_в$, полученную путем графической экстраполяции этой характеристики до пересечения с осью абсцисс (рис. VII.3), и получают х. х. х., проходящую через начало координат.

В режиме двигателя х. х. х. снимают при питании испытуемой машины от источника, напряжение которого можно плавно изменять от значения, не менее 1,3 номинального, практически до нуля. В этом режиме х. х. х. определяют при коэффициенте мощности, равном единице. Для этого при каждом значении напряжения измеряют ток возбуждения, соответствующий минимальному току в *ОС* (якоре).

В режиме генератора (рис. VII.4) для снятия х. х. х. измеряют ток возбуждения, линейное напряжение и частоту (или скорость вращения), а в режиме двигателя, кроме того, ток в фазе.

При соединении обмотки статора в звезду для оценки третьей гармонической составляющей э. д. с. измеряют фазовое напряжение, а при соединении в треугольник — ток в фазе.

Перед снятием х. х. х. проводится испытание витковой изоляции. Для этого возбуждение

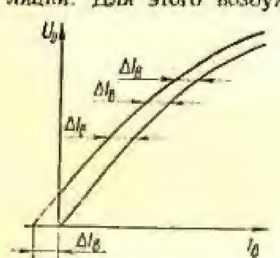


Рис. VII.3. Характеристика холостого хода СМ.

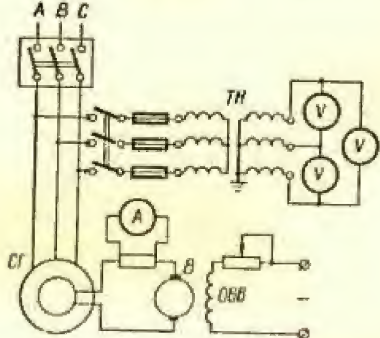


Рис. VII.4. Схема включения приборов при снятии х. х. х.

СМ плавно поднимают до величины, соответствующей номинальному току возбуждения, но не ниже 150% $U_{ном}$ гидрогенератора или 130% $U_{ном}$ турбогенератора и синхронного компенсатора. Наибольшее напряжение выдерживается в течение 5 *мин*.

Для генераторов, работающих в блоке с трансформаторами при отсутствии между ними коммутационных аппаратов, напряжение поднимают до величины 130% $U_{ном}$.

Отсчеты и запись показаний приборов при снятии характеристики рекомендуется делать при 130; 125; 120; 110; 100; 85; 70; 50; 30; 0% номинального напряжения (указанные шкалы напряжений являются ориентировочными; небольшие отступления в ту или другую сторону не влияют на характеристику). Регулировку шунтовым реостатом следует проводить только в одном направлении.

Для получения последней точки характеристики (0%), цепь возбуждения генератора размыкают и измеряют остаточное напряжение. Полученную х. х. х. сравнивают с характеристикой предыдущего испытания. Отклонение характеристики от заводской х. х. х. не нормируется.

При скорости вращения ротора во время испытания ниже номинальной величина напряжения, соответствующая номинальной скорости, пересчитывается по формуле

$$U = U_{изм} \frac{n_{ном}}{n_{изм}}, \qquad \text{(VII.2)}$$

где U — напряжение, соответствующее номинальной скорости вращения, $в$; $U_{изм}$ — измеренное напряжение, $в$; $n_{ном}$ и $n_{изм}$ соответственно номинальное и измеренное число оборотов ротора в минуту.

Одновременно со снятием х. х. х. проверяют симметрию напряжений ОС. Согласно ГОСТу 10169-68, эта проверка может осуществляться при любом значении напряжения (рекомендуется при номинальном).

Для определения симметрии напряжения одновременно измеряют напряжение между тремя линейными выводами. Если нет трех приборов, можно выполнить измерение двумя вольтметрами: один включают поочередно между каждой парой линейных выводов, а другой для контроля оставляют подключенным к любой паре линейных выводов. Симметрию напряжений оценивают по отношению разности между наибольшим и наименьшим измеренными линейными напряжениями к среднему его значению

$$\varepsilon = \frac{U_{макс} - U_{мин}}{U_{ср}}\, 100\,[\%]. \qquad \text{(VII.3)}$$

Для измерения напряжения высоковольтных машин можно использовать установленные трансформаторы напряжения, подключенные к выводам машины.

Характеристика трехфазного короткого замыкания

Согласно ГОСТу 10169-68, характеристика короткого замыкания определяет собой зависимость тока в цепи ОС (якоря) от тока возбуждения машины, работающей в режиме генератора, при установившемся трехфазном коротком замыкании.

Характеристика короткого замыкания используется при расчете эксплуатационных параметров генератора и определении исправности машины. Одновременно с определением этой характеристики могут быть определены активные потери в обмотках

$$\Delta P = mI^2R\ [вт], \qquad \text{(VII.4)}$$

где m — число фаз статора; I — ток статора, $а$; R — сопротивление фазы статора при 75° С, $ом$.

Накоротко фазы замыкают как можно ближе к выводам машины проводниками минимальной длины. Сечение проводников выбирают по ожидаемому току.

Для СМ, работающих по схеме самовозбуждения и имеющих доступные выводы ОВ (например, контактные кольца), характеристику короткого замыкания снимают при питании ОВ от постороннего источника, как и при определении х. х. х. (рис. VII.5).

При испытании измеряют токи в фазах ОС и ток возбуждения. У машин с соединением фаз ОС в треугольник чаще измеряют линейный ток. Характеристика трехфазного короткого замыкания представляет собой прямую. Для построения ее достаточно сделать три-четыре отсчета при разных значениях тока статора.

Если одновременно со снятием характеристики определяют потери в обмотках, следует делать не менее шести отсчетов через приблизительно равные интервалы токов, в том числе отсчет при выключенном возбуждении. Один из отсчетов делают при токе, близком к номинальному току в ОС. Рекомендуется определять характеристику при убывающих токах.

Величина тока трехфазного короткого замыкания при определенном токе возбуждения не зависит от скорости вращения генератора. Поэтому, если одновременно с испытанием не определяют потери в обмотках, точное поддержание скорости на уровне номинальной не требуется; поправку на отклонение скорости вращения от номинальной в результаты испытания не вносит.

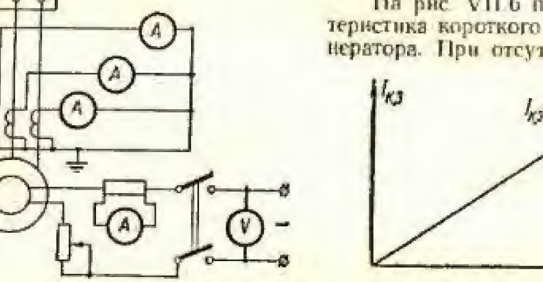


Рис. VII.5. Схема включения приборов при снятии характеристики короткого замыкания.

На рис. VII.6 показана характеристика короткого замыкания генератора. При отсутствии остаточного намагничивания у машины характеристика проходит через начало координат, при остаточном намагничивании она отклоняется.

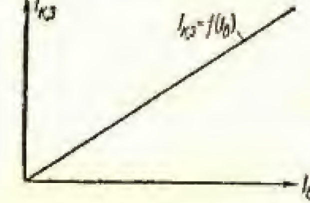


Рис. VII.6. Характеристика короткого замыкания СМ.

В режиме двигателя опыт короткого замыкания можно осуществить только во время выбега после отключения испытуемой машины от источника питания.

Отклонение измеренной характеристики короткого замыкания от заводской должно находиться в пределах точности измерения. Существенное снижение измеренной характеристики свидетельствует о витковых замыканиях в обмотке ротора.

Нагрузочные характеристики

Нагрузочная характеристика СГ представляет собой зависимость напряжения ОС от тока возбуждения $U = f(I_в)$ при неизменных значениях $I_{ст}$, $\cos\varphi$ и f.

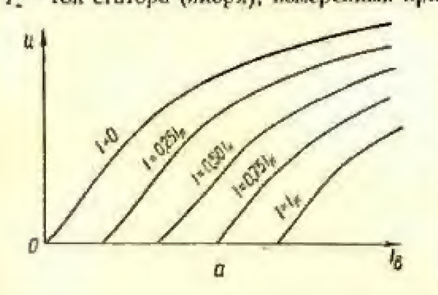
Вид нагрузочных характеристик при различных токах нагрузки показан на рис. VII.7.

Нагрузочные характеристики СГ можно определить двумя способами.

1. Испытуемая машина с приводным двигателем имеет номинальное напряжение, равное номинальному напряжению сети. Ее синхронизируют с сетью, затем повышают возбуждение ее до тех пор, пока ток, отдаваемый машиной, не будет номинальным. Регулируют приводной двигатель так, чтобы между машиной и сетью не было обмена активной мощностью.

Если напряжение и ток при испытании отличаются от номинальных не более чем на 15%, ток возбуждения, соответствующий номинальному, определяется графическим методом. Согласно ГОСТу 10169-68, для этого на графике, на котором нанесена х. х. х. испытуемой машины, ставят точку, соответствующую измеренным значениям напряжения и тока возбуждения при коэффициенте мощности, равном нулю (см. точку C на рис. VII.7) и измеренном токе статора (якоря).

Затем из точки C параллельно оси абсцисс в сторону х. х. х. откладывают отрезок CF, равный току возбуждения, соответствующему по характеристике установившегося короткого замыкания току статора (якоря) I, измеренному при определении точки C. Через точку F проводят линию параллельно начальной части х. х. х. до пересечения с ней в точке H. Через точки H и C проводят прямую и из точки H откладывают на ней отрезок HN, определяемый из выражения $\frac{HN}{HC} = \frac{I_{ном}}{I}$, где I — ток статора (якоря), измеренный при определении точки C, $I_{ном}$ — номинальный ток статора (якоря). Х. х. х. затем переносят параллельно самой себе вправо и вниз на расстояние HN. На этой характеристике находят точку A, соответствующую номинальному напряжению. Абсцисса этой точки (OB) определяет ток возбуждения при номинальных напряжении и токе статора (якоря) в режиме перевозбуждения при коэффициенте мощности, равном нулю, а кривая представляет нагрузочную характеристику.



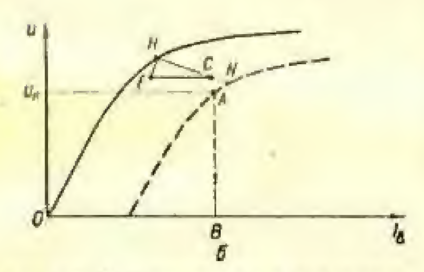


Рис. VII.7. Нагрузочные характеристики СМ (*а*) и графическое определение тока возбуждения при $\cos\varphi = 0$ и $U_{ном}$(*б*).

2. Испытуемая машина с приводным двигателем работает на другую вспомогательную СМ с тем же номинальным напряжением, но большей мощности (не менее чем в полтора раза). Если вспомогательная СМ имеет свой приводной двигатель, обе машины приводят в движение от своих двигателей и синхронизируют. Затем одновременно возбуждение испытуемой машины повышается, а вспомогательной — понижается до тех пор, пока ток, отдаваемый машиной, не будет номинальным. Если одна из СМ приводится от двигателя постоянного тока, можно добиться, чтобы не было обмена активных мощностей между машинами.

Если вспомогательная СМ не имеет своего приводного двигателя, порядок проведения опыта не изменяется. Однако в этом случае все потери вспомогательной машины покрываются от испытуемой, вследствие чего коэффициент мощности последней не равен нулю. Результаты испытания в связи с этим будут иметь незначительную погрешность.

U-образная характеристика

Эта характеристика представляет собой зависимость тока статора от тока возбуждения при постоянных частоте, напряжении на выводах и полезной мощности на валу двигателя. U-образную характеристику снимают при холостом ходе и нескольких значениях активной нагрузки.

Рекомендуется снимать U-образную характеристику при наладке всех СД. Она позволяет определить условия регулирования возбуждения двигателя, выбрать пусковое положение реостата возбуждения, настроить автоматические регуляторы.

Согласно ГОСТу 10169-68, для определения U-образной характеристики СМ подключают к сети или к отдельному генератору и дают ей возможность работать с номинальным напряжением и частотой в режиме двигателя или генератора (при наличии первичного двигателя). При испытании измеряют ток, напряжение, мощность и частоту тока статора (якоря) и ток возбуждения (рис. VII.8).

Характеристику определяют как при недовозбуждении, так и при перевозбуждении. Желательно найти точки при минимальном токе статора, токе возбуждения, равном нулю (в режиме недовозбуждения), и токе статора, равном номинальному (в режиме перевозбуждения). При подключении машины к отдельному СГ мощность последнего должна быть не меньше 1,5 номинальной мощности испытуемой машины.

Рис. VII.8. Схема снятия U-образной характеристики СМ:

$Ф_в$ — форсировка возбуждения; $R_ш$ — шунтовой реостат.

В режиме генератора U-образную характеристику снимают при наличии первичного двигателя и вспомогательной СМ, которую можно использовать в качестве двигателя от испытуемой машины. Мощность вспомогательной СМ должна быть не меньше 1,5 номинальной мощности машины, для которой определяют U-образную характеристику.

Для получения характеристики СД при холостом ходе в ОВ подают наименьший ток, при котором двигатель не выпадает из синхронизма. При этом отсчитывают токи статора и возбуждения. Затем увеличивают ток возбуждения до тех пор, пока ток статора не уменьшится до нуля. В этой части характеристики (режим недовозбужденного двигателя) делают отсчеты в четырех или пяти точках. Дальнейшее увеличение тока возбуждения вызывает увеличение потребляемого тока из сети.

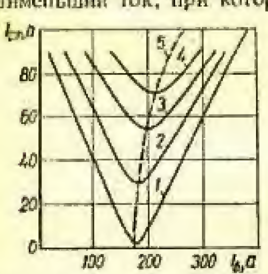


Рис. VII.9. U-образные характеристики СМ:

1 — при холостом ходе двигателя; 2—4 — при различных постоянных нагрузках; 5 — смещение характеристик при различных нагрузках.

Последнюю точку U-образной кривой снимают при токе статора, превышающем номинальный на 10—20%. Снимая часть характеристики, соответствующую перевозбуждению двигателя, отсчеты делают также в четырех-пяти точках.

Аналогичным образом получают U-образные кривые для активной мощности на валу двигателя, составляющей $^1/_3$; $^2/_3$ полной мощности либо равной ей. Точки перегиба характеристик соответствуют работе двигателя с $\cos\varphi = 1$.

На рис. VII.9 показаны U-образные характеристики СД.

U-образные характеристики, снятые при неизменной мощности на валу, но при различных значениях напряжения статора, будут смещены

друг относительно друга по оси абсцисс. При наладке чаще всего ограничиваются U-образной характеристикой при холостом ходе.

В отдельных случаях определяют только одно значение тока возбуждения в режиме ненагруженного перевозбужденного двигателя при номинальных напряжении и токе статора и $\cos \varphi = 0$.

Регулировочные характеристики

Регулировочная характеристика СМ выражает зависимость $I_в = f(I_{ст})$ при $U = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$.

Характеристики, в частности, дают возможность установить, как регулировать при переменной нагрузке ток возбуждения от $I_{в.х.х}$ до $I_{в.ном}$ для поддержания номинальной величины напряжения на зажимах СМ.

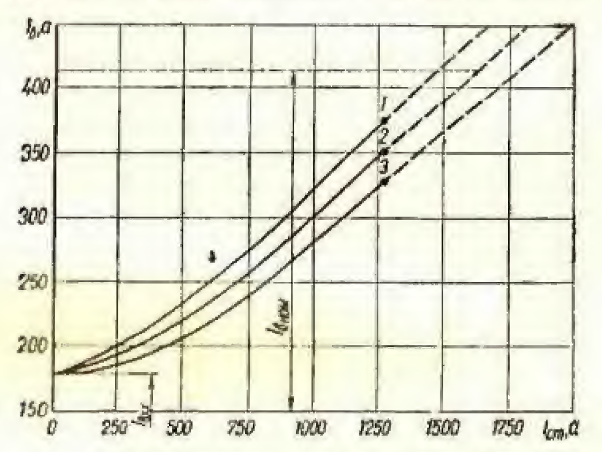


Рис. VII.10. Регулировочные характеристики СГ:
1 — $\cos \varphi = 0,7$; 2 — $\cos \varphi = 0,8$; 3 — $\cos \varphi = 0,9$.

На рис. VII.10 показаны примерные регулировочные характеристики ТГ при различных значениях $\cos \varphi$.

Согласно ГОСТу 10169-68, регулировочную характеристику определяют непосредственно при испытании или графически.

Для определения регулировочной характеристики методом непосредственной нагрузки СМ присоединяют к сети неизменного напряжения и дают ей возможность работать (в зависимости от основного назначения) в режиме генератора, синхронного компенсатора или двигателя. Для получения регулировочной характеристики генератора и синхронного компенсатора может быть использована также регулируемая нагрузка.

Во время испытания в цепи статора (якоря) измеряют напряжение, ток, мощность, коэффициент мощности, частоту, а в цепи возбуждения — ток. Один из отсчетов делают при токе статора (якоря), близком к номинальному.

При графическом определении регулировочной характеристики используют х. х. х., характеристику трехфазного короткого замыкания и расчетное индуктивное сопротивление x_p.

Расчетные точки для построения регулировочной характеристики получают при трех-четырех значениях тока статора для заданных значений $\cos \varphi$ и напряжения $U_{ном}$.

На рис. VII.11 показано, как определяют одну из точек регулировочной характеристики при номинальном значении тока статора $I_{ном}$. Аналогично определяют точки регулировочной характеристики при значениях тока статора $1/4$, $1/2$ и $3/4$ $I_{ном}$.

Точку регулировочной характеристики для номинального тока статора при заданных $\cos \varphi$ и напряжении определяют следующим образом.

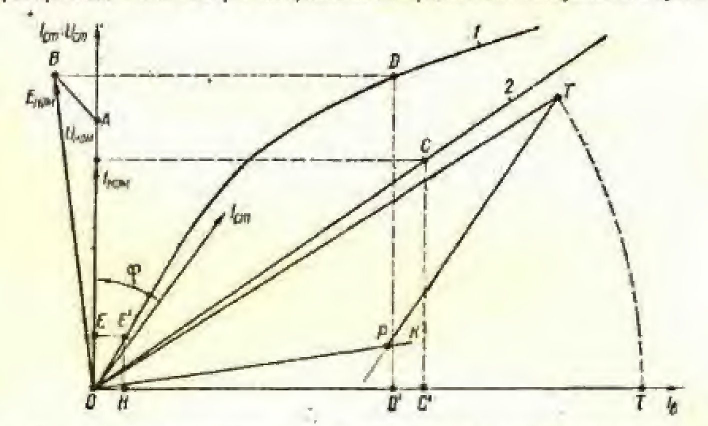


Рис. VII.11. Диаграмма ЭМДС синхронного генератора и схема определения одной из точек регулировочной характеристики:
1 — х. х. х.; 2 — х. к. з.

По оси ординат откладывают вектор напряжения $U_{ном}$ (OA), а под фазовым углом, отложенным по часовой стрелке к вектору напряжения,— вектор тока статора $I_{ст}$. Затем перпендикулярно вектору тока статора из вершины вектора $U_{ном}$ проводят вектор падения напряжения в индуктивном сопротивлении рассеяния (AB). Величина индуктивного сопротивления рассеяния x_p может быть принята равной примерно 0,9—0,95 сверхпереходного реактанса по продольной оси или определена графическим путем.

Величина отрезка падения напряжения AB равна произведению тока статора $I_{ном}$ на расчетное индуктивное сопротивление x_p. Линия OB, соединяющая конец вектора падения напряжения AB с началом координат, является вектором э. д. с. обмотки статора $E_{ном}$. Через вершину этого вектора (точку B) проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с х. х. х. (точка D). Из точки D на ось абсцисс опускают перпендикуляр DD'. После этого из начала координат проводят линию OK, перпендикулярную вектору э. д. с. $E_{ном}$ (линия OB). На этой линии находят точку P такую, чтобы $OP = OD'$. По оси ординат от ее начала откладывают величину тока статора $I_{ном}$; через полученную точку проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с характеристикой трехфазного короткого замыкания (точка C). Из точки C опускают перпендикуляр CC' на ось абсцисс.

По оси ординат откладывают отрезок $OE = AB$. Через точку E проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с х. х. х. Из полученной точки E' на ось абсцисс опускают перпендикуляр $E'H$.

Через точку P проводят прямую, параллельную вектору тока статора $I_{ст}$, от точки P откладывают отрезок $PT = HC'$. Точку T соединяют с началом координат.

На оси абсцисс откладывают отрезок $OT' = OT$, который соответствует току возбуждения $I_в$ при номинальном токе статора и заданных значениях $\cos\varphi$ и U.

Регулировочные характеристики строят для нескольких значений коэффициента мощности.

Испытания синхронных машин на нагрев

Общие положения по этому испытанию для всех ЭМ, данные об изоляционных материалах, применяемых в них, методы измерения температур изложены в гл. V.

Предельно допустимые превышения температуры частей СМ определены ГОСТами 183-66; 533-68; 5616-69; 609-66 (табл. V.4 и VII.10).

Таблица VII.10

Предельно допустимые превышения температуры частей СМ, °С

Наименование частей машины	Мощность машины	Температура охлаждающего воздуха, °С		
		40	30	20
Турбогенераторы:				
обмотка статора	<12 000 *квт*	65	75	85
	>12 000 *квт*	65	75	75
» ротора	<12 000 *квт*	90	100	110
	>12 000 *квт*	90	100	100
активная сталь	<12 000 *квт*	65	75	85
Синхронные компенсаторы:	>12 000 *квт*	65	75	75
обмотка статора	5000—30 000 *ква*	65	—	—
» ротора	5000—30 000 *ква*	90	—	—
Обмотка статора гидрогенератора	1000 *ква* и больше	—	70 (при температуре воздуха 35° С)	

Примечания: 1. Если температура размягчения пропиточного состава выше 105° С (ГОСТ 2400—51), то допустимое превышение температуры обмотки статора и активной стали повышается. 2. Если для турбогенераторов применяется изоляция, более теплостойкая, чем класса *B*, то допустимое превышение температуры устанавливается ТУ.

При приемо-сдаточных испытаниях синхронных генераторов и компенсаторов испытания на нагрев выполняют путем непосредственной нагрузки, составляющей 60, 75, 90 и 100% номинальной. Для проведения испытаний в установившемся тепловом режиме 5—6 ч поддерживаются неизменными токи статора и ротора и температура охлаждающей среды.

При испытаниях лабораторными и щитовыми приборами измеряют: 1) напряжение и ток статора, активную и реактивную мощность, частоту, напряжение и ток ротора; 2) температуру обмотки и стали статора (по заводским термодетекторам); 3) температуру обмотки ротора (по изменению сопротивления ее постоянному току); 4) температуры входящего и выходящего газа (измерения проводятся в нескольких точках термометрами или термодетекторами); 5) температуру входящей и выходящей охлаждающей воды (термометрами).

По результатам измерения строятся зависимости превышения температур обмоток и стали над температурой холодного газа от квадрата тока статора и ротора (рис. VII.12). По кривым превышения температур определяются перегревы, соответствующие номинальным токам статора и ротора, и допустимые нагрузки статора и ротора при различных эксплуатационных температурах охлаждающей среды, при которых температуры частей испытуемой машины не превосходят значений, допускаемых ГОСТами.

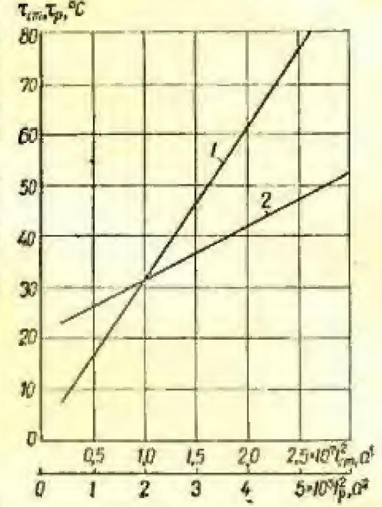


Рис. VII.12. Зависимость превышения температуры обмоток генератора над температурой входящего воздуха:

1 — от квадрата тока возбуждения — для обмотки ротора; *2* — от квадрата тока статора — для обмотки статора.

Результаты первых тепловых испытаний используются для оценки состояния СМ и ее системы охлаждения при повторных тепловых испытаниях в процессе эксплуатации.

Определение активных и индуктивных сопротивлений и постоянных времени синхронных машин

Активные и индуктивные сверхпереходные сопротивления и сопротивления обратной последовательности фаз

При пуско-наладочных испытаниях активные и индуктивные сверхпереходные сопротивления определяются стационарным методом при однофазном питании пониженным напряжением переменного тока попарно всех фаз обмотки статора (рис. VII.13).

Напряжение переменного тока подается или от понижающего трансформатора (12—60 *в*), или от сети (220—380 *в*). При этом измеряют токи, напряжения и активные мощности (I_{AB}; I_{BC}; I_{AC}; U_{AB}; U_{BC}; U_{AC}; P_{AB}; P_{BC}; P_{AC}).

Чтобы исключить влияние сопротивления подводящих проводов и переходных контактов, вольтметр и цепи напряжения ваттметра присоединяют отдельными проводниками к выводам машины.

Обмотку ротора замыкают накоротко и измеряют в ней ток. Ожидаемые ток и мощность, потребляемые при опыте:

$$I = \frac{US_{ном}}{2 \cdot 0{,}15U^2_{ном}}\ [a]; \qquad (VII.5)$$

$$P = UI\cos\varphi_к\ [вт], \qquad (VII.6)$$

Рис. VII.13. Схема включения приборов при определении сверхпереходных активных и реактивных сопротивлений СМ.

где U — напряжение источника питания, *в*; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение СМ, *кв*; $S_{ном}$ — номинальная мощность СМ, *Мва*; $\cos\varphi_к$ — коэффициент мощности, принимаемый в пределах 0,2—0,4.

На основе проведенных измерений определяют полные, индуктивные и активные сопротивления, отнесенные к одной фазе обмотки:

$$Z_{AB} = \frac{U_{AB}}{2I_{AB}},\quad Z_{BC} = \frac{U_{BC}}{2I_{BC}},\quad Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{2I_{AC}}\ [ом]; \qquad (VII.7)$$

$$R_{AB} = \frac{P_{AB}}{2I^2_{AB}},\quad R_{BC} = \frac{P_{BC}}{2I^2_{BC}},\quad R_{AC} = \frac{P_{AC}}{2I^2_{AC}}\ [ом]; \qquad (VII.8)$$

$$x_{AB} = \sqrt{Z^2_{AB} - R^2_{AB}},\quad x_{BC} = \sqrt{Z^2_{BC} - R^2_{BC}},\quad x_{AC} = \sqrt{Z^2_{AC} - R^2_{AC}}\ [ом]. \qquad (VII.9)$$

Затем вычисляют средние значения сопротивления (*ом*):

полного

$$Z_{ср} = \frac{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}{3}; \qquad (VII.10)$$

индуктивного

$$x_{ср} = \frac{x_{AB} + x_{BC} + x_{AC}}{3}; \qquad (VII.11)$$

активного

$$R_{ср} = \frac{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}{3}. \qquad (VII.12)$$

Активные сопротивления по продольной и поперечной осям:

$$R''_d = R_{ср} - \Delta R; \qquad (VII.13)$$

$$R''_q = R_{ср} + \Delta R, \qquad (VII.14)$$

где

$$\Delta R = 0{,}667\sqrt{R_{AB}(R_{AB} - R_{BC}) + R_{BC}(R_{BC} - R_{AC}) + R_{AC}(R_{AC} - R_{AB})}. \qquad (VII.15)$$

Приведенное к статору среднее активное сопротивление ротора $R_{р.ср}$ и активные сопротивления ротора по продольной $R''_{рd}$ и поперечной $R''_{рq}$ осям при частоте тока в роторе 50 *гц* определяют по формулам

$$R_{р.ср} = R_{ср} - R_{ст}; \qquad (VII.16)$$

$$R''_{рd} = R''_d - R_{ст}; \qquad (VII.17)$$

$$R''_{рq} = R''_q - R_{ст}, \qquad (VII.18)$$

где $R_{ст}$ — принимается равным (2—3) R для генераторов, имеющих непрерывную изоляцию обмотки статора и (4—5) R для генераторов, имеющих гильзовую изоляцию; R — сопротивление одной фазы ОС постоянному току.

Активные сопротивления статора $R_{ст}$ можно определить, зная потери в статоре генератора при номинальном токе в режиме трехфазного короткого замыкания $P_{к.з}$:

$$R_{ст} = \frac{P_{к.з}}{3I^2_{ном}}. \qquad (VII.19)$$

Активное сопротивление обратной последовательности ротора $R_р$ и генератора в целом R_2:

$$R_р = \sqrt{2}R_{р.ср}, \qquad (VII.20)$$

$$R_2 = R_{ст} + \sqrt{2}R_{р.ср}. \qquad (VII.21)$$

Сверхпереходные реактивные сопротивления по продольной и поперечной осям

$$x''_d = x_{ср} \mp \Delta x; \qquad (VII.22)$$

$$x''_q = x_{ср} \pm \Delta x, \qquad (VII.23)$$

где значение $x_{ср}$ находим по (VII.11);

$$\Delta x = 0{,}667\sqrt{x_{AB}(x_{AB} - x_{BC}) + x_{BC}(x_{BC} - x_{AC}) + x_{AC}(x_{AC} - x_{AB})}. \qquad (VII.24)$$

В формулах (VII.22) и (VII.23) знак перед Δx определяют следующим образом: $x''_d < x''_q$ — если наибольшему измеренному сопротивлению на одной из пар линейных выводов *ОС* соответствует минимальный из трех токов в цепи возбуждения; $x''_d > x''_q$ — если наибольшему измеренному индуктивному сопротивлению статора соответствует максимальный из трех токов в цепи возбуждения.

Индуктивное сопротивление (в процентах) выражается следующей формулой:

$$x = \frac{P_{ном}x_{\Omega}}{U^2_{ном}}\ 100\ [\%], \qquad (VII.25)$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, *Мва*; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, *кв*; x_{Ω} — величина индуктивного сопротивления, *ом*.

При известных значениях сверхпереходных индуктивных сопротивлений по продольной и поперечной осям (x''_d и x''_q) индуктивное сопротивление обратной последовательности согласно ГОСТу 10169-68

может быть определено по выражению

$$x_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2}. \qquad \text{(VII.26)}$$

Для явнополюсных машин лучше пользоваться выражением

$$x_2 = \sqrt{x_d'' \cdot x_q''} \qquad \text{(VII.27)}$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности

ГОСТ 10169-68 рекомендует определять сопротивление нулевой последовательности при однофазном питании *ОС* (якоря) машины, вращающейся с номинальной скоростью (или близкой к номинальной). При этом все три фазы *ОС* соединяют последовательно (в разомкнутый треугольник). Обмотку возбуждения замыкают накоротко.

Если число выводов *ОС* (якоря) меньше шести, то индуктивное сопротивление нулевой последовательности x_0 можно определять при параллельном соединении фаз обмотки. Подводимое напряжение выбирают так, чтобы ток в обмотке не был больше номинального.

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности вычисляют (без учета активного сопротивления нулевой последовательности) по таким формулам:

последовательное соединение фаз обмоток

$$x_0 = \frac{U_п}{3I_{п.т}}; \qquad \text{(VII.28)}$$

параллельное соединение фаз обмоток

$$x_0 = \frac{3U_п}{I_{п.т}}, \qquad \text{(VII.29)}$$

где $U_п$ — подведенное напряжение, *в*; $I_{п.т}$ — потребляемый ток, *а*. Предпочтение отдается определению x_0 при последовательном соединении обмоток всех фаз. Величину x_0 можно также определить методом замыкания двух фаз на нейтраль обмотки статора (ГОСТ 10169-68).

Синхронные индуктивные сопротивления

Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси x_d предпочтительно определять по х. х. х. и х. к. з. как частное от деления напряжения холостого хода, взятого по продолжению прямолинейной части х. х. х. при некотором возбуждении, на ток симметричного короткого замыкания, взятый по х. к. з. при том же токе возбуждения. Если характеристики построены в относительных единицах, то все индуктивные сопротивления выражаются в относительных единицах. Определенное таким образом значение x_d соответствует ненасыщенному состоянию машины (ГОСТ 10169-68).

Согласно рис. VII.14 синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси

$$x_d = \frac{AC}{CE}. \qquad \text{(VII.30)}$$

По характеристикам, приведенным на рис. VII.14, определяют также отношение короткого замыкания (ОКЗ) путем деления установившегося тока симметричного короткого замыкания при возбуждении, соответствующем номинальному напряжению по х. х. х., *FD*, на номинальный ток статора *GH* (ГОСТ 10169-68):

$$\text{ОКЗ} = \frac{FD}{GH}. \qquad \text{(VII.31)}$$

Синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси x_q предпочтительно определять методом отрицательного возбуждения при работе испытуемой машины параллельно с сетью без активной нагрузки. Ток возбуждения сначала уменьшают до нуля, изменяют его полярность, а затем постепенно увеличивают до тех пор, пока машина не перейдет в асинхронный режим. При этом синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси

$$x_q = x_d \frac{U_1}{U_1 + U_{х.х}}, \qquad \text{(VII.32)}$$

Рис. VII.14. Определение синхронного индуктивного сопротивления:

1 — х. к. з.; *2* — х. х. х.; *3* — спрямленная х. х. х.

где $U_{х.х}$ — напряжение холостого хода, определяемое по спрямленной х. х. х., проведенной через точку, соответствующую напряжению U_1 в момент нарушения синхронизма при токе возбуждения $I_{в.к.з}$; x_d — синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси, определенное по той же спрямленной х. х. х. (рис. VII. 15).

Если напряжение при испытании соответствует номинальному, значение x_q может быть определено как отношение напряжения к току статора (якоря), соответствующему максимальному отрицательному возбуждению, при котором происходит устойчивая работа машины. Из этого опыта получают насыщенное значение x_q (ГОСТ 10169-68). Синхронные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям машины можно также определить методом скольжения (ГОСТ 10169-68).

При известных синхронном индуктивном сопротивлении x_d, переходных постоянных времени по продольной оси при разомкнутой T'_{d_0} и замкнутой T'_d обмотке статора (якоря) может быть вычислено переходное индуктивное сопротивление по продольной оси,

$$x'_d = x_d \frac{T'_d}{T'_{d_0}}. \qquad \text{(VII.33)}$$

Расчетное индуктивное сопротивление

Согласно ГОСТу 10169-68, величину расчетного индуктивного сопротивления x_p определяют графически по х. х. х. и х. к. з., а также по точке нагрузочной характеристики, соответствующей номинальным значениям напряжения и тока статора (якоря) с коэффициентом

мощности, равным нулю при перевозбуждении (точка A на рис. VII.16). Все построения целесообразно проводить в относительных единицах.

Влево от точки A параллельно оси абсцисс откладывают отрезок $AB = OG$, причем OG соответствует току возбуждения $I_{в.к.з}$ при номинальном токе статора (якоря) по х. к. з. Из точки B проводят прямую, параллельную начальной части х. х. х. до пересечения с

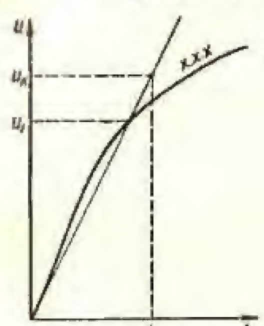


Рис. VII.15. Определение синхронного индуктивного сопротивления по поперечной оси методом отрицательного возбуждения.

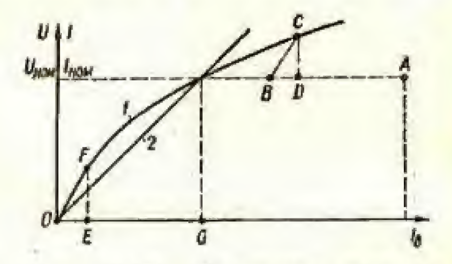


Рис. VII.16. Определение величины расчетного индуктивного сопротивления:

1 — х. х. х.; *2* — х. к. з.

х. х. х. в точке C, из которой на линию AB опускают перпендикуляр. Тогда

$$x_р = \frac{CD}{I_{ном}}, \tag{VII.34}$$

где CD — отрезок, характеризующий падение напряжения на расчетном реактивном сопротивлении при номинальном токе статора.

Если точка нагрузочной характеристики, соответствующая номинальным значениям напряжения и тока статора (якоря) с коэффициентом мощности, равным нулю при перевозбуждении, не может быть определена опытным путем, то по х. к. з. определяют ток возбуждения $I_{в.к.з}$, соответствующий номинальному току статора (якоря). Вычисляют составляющую тока возбуждения $I_я$, компенсирующую реакцию якоря при номинальном токе. Разность $I_{в.к.з} - I_я$ откладывают по оси абсцисс от начала координат (отрезок OE на рис. VII.16). Из точки E восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой *1*. Тогда

$$x_р = \frac{EF}{I_{ном}}, \tag{VII.35}$$

где EF — отрезок, представляющий падение напряжения на расчетном реактивном сопротивлении при номинальном токе статора (якоря).

Постоянные времени СМ

При пуско-наладочных испытаниях СГ определяются постоянные времени успокоительного контура и контура возбуждения по продольной оси. Для определения постоянных времени контура возбуждения и успокоительного контура по продольной оси расчетно-экспериментальным методом проводят четыре следующих опыта гашения поля:

1) при холостом ходе с номинальным напряжением и внезапном коротком замыкании OB;

2) при холостом ходе с номинальным напряжением и внезапном замыкании OB на сопротивление гашения поля;

3) при коротком замыкании с номинальным током и внезапном коротком замыкании OB;

4) при коротком замыкании с номинальным током и замыкании OB на сопротивление гашения поля.

В первых двух опытах осциллографируют затухание напряжения статора (якоря) и определяют переходную постоянную времени по продольной оси при разомкнутой обмотке статора (якоря) T'_{d_0} (из первого опыта) и постоянную времени гашения поля при разомкнутой обмотке статора (якоря) T'_{rd_0} (из второго опыта).

В третьем и четвертом опытах осциллографируют затухание тока статора (якоря) и определяют переходную постоянную времени по продольной оси при замкнутой накоротко OC T'_d (из третьего опыта) и постоянную времени гашения поля при замкнутой накоротко OC T'_{rd} (из четвертого опыта).

Переходная постоянная времени по продольной оси при разомкнутой обмотке статора T'_{d_0} и постоянная времени гашения поля при разомкнутой обмотке статора T'_{rd_0} определяются по осциллограммам как время, в течение которого напряжение статора с учетом остаточного напряжения, т. е. величина $(U_{ном} - U_{ост})$, затухает до 0,368 своего первоначального значения.

Переходная постоянная времени по продольной оси при замкнутой обмотке статора T'_d и постоянная времени гашения поля T'_{rd} при замкнутой обмотке статора определяются по осциллограммам как время, в течение которого ток статора затухает до 0,368 своего первоначального значения $I_{ном}$. При осциллографировании измеряется также напряжение и ток ротора.

По полученным из опытов величинам T'_{d_0} и T'_{rd_0} и кратности сопротивления гашения поля a могут быть определены постоянная времени контура возбуждения $T_{вd_0}$ и постоянная времени успокоительного контура по продольной оси T_{1d_0} при разомкнутой обмотке статора

$$T_{вd_0} \approx \frac{a+1}{a}(T'_{d_0} - T'_{rd_0}). \tag{VII.36}$$

$$T_{1d_0} \approx T'_{rd_0} - \frac{T'_{d_0} - T'_{rd_0}}{a}. \tag{VII.37}$$

(Выражения VII.36 и VII.37 даны без учета сверхпереходных постоянных времени по продольной оси.)

Кратность сопротивления гашения поля

$$a = \frac{R_г}{R_в},$$

где $R_г$ — сопротивление гашения поля; $R_в$ — сопротивление постоянному току обмотки возбуждения СМ.

По аналогичным формулам вычисляют постоянные времени контура возбуждения $T_{вd}$ и успокоительного контура по продольной оси $T_{1,d}$ при замкнутой накоротко обмотке статора.

Постоянные времени T'_{d_0}, T'_{rd_0}, T'_d и T'_{rd} могут быть также определены при помощи реле напряжения (тока) и электрического секундомера (рис. VII.17).

Для определения величины T'_{rd_0} включением рубильника P отключают автомат гашения поля генератора, работающего на холостом ходу с номинальным напряжением статора и номинальной частотой.

Напряжение возврата реле напряжения устанавливается равным

Рис. VII.17. Схема измерения постоянных времени T'_{rd_0} и T'_{d_0}.

$$U_p = 0{,}368\,(U_{нач} - U_{ост}) + U_{ост}, \qquad (VII.38)$$

где $U_{нач}$ — напряжение статора генератора до начала гашения поля; $U_{ост}$ — остаточное напряжение по окончании процесса гашения поля.

По показаниям секундомера определяют время

$$t = T'_{rd_0} + t_{р.н}. \qquad (VII.39)$$

где $t_{р.н}$ — собственное время возврата реле напряжения.

Постоянную времени T'_{d_0} определяют аналогичным образом при гашении поля замыканием обмотки возбуждения СМ накоротко (с зашунтированным сопротивлением гашения)

Скорость нарастания напряжения возбудителя

Согласно ГОСТу 10169-68, скорость нарастания напряжения возбудителей СМ определяют при вращении их на холостом ходу с номинальной скоростью. При номинальном напряжении возбуждения СМ шунтируют все сопротивления в цепи возбуждения возбудителя, кроме невыключаемых сопротивлений, предназначенных для ограничения потолочного напряжения, если таковые имеются.

Нарастание напряжения возбудителя до потолочного значения записывают на осциллограмму, по которой определяют время t_1, в течение которого напряжение на возбудителе возрастает от $U_{ном}$ до U':

$$U' = U_{ном} + 0{,}632\,(U_п - U_{ном}), \qquad (VII.40)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение возбуждения СМ; $U_п$ — потолочное напряжение возбудителя.

Скорость нарастания напряжения возбудителя

$$V = \frac{0{,}632\,(U_п - U_{ном})}{U_{ном} t_1}. \qquad (VII.41)$$

В табл. VII.11 приведены величины скорости нарастания напряжения возбудителей СМ.

Таблица VII.11

Скорости нарастания напряжения возбудителей СМ

Синхронные машины	Относительная скорость нарастания напряжения при холостом ходе возбудителя в долях номинального напряжения возбуждения, $сек^{-1}$	Отношение верхнего предела напряжения возбудителя к номинальному напряжению возбуждения	ГОСТ
Синхронные генераторы	$\geq 0{,}8$	1,4—1,8	183—66
Синхронные компенсаторы	≥ 2	≥ 2	609—66
Турбогенераторы	2	2	533—68
Гидрогенераторы мощностью, *ква*:			
до 4000 (включительно)	$\geq 1{,}3$	1,8	5616—63
больше 4000	$\geq 1{,}5$	1,8	То же

Наладка системы возбуждения

Рассмотрим системы возбуждения с электромашинным возбудителем, применяемые на генераторах небольших и средних мощностей.

В программу наладки входят: 1) прозвонка и испытание изоляции цепей возбуждения; 2) проверка и испытание реостатов возбуждения и гасительных сопротивлений; 3) проверка и наладка автоматов гашения поля; 4) проверка измерительных приборов; 5) опробование и проверка системы возбуждения на вращающемся генераторе.

Прозвонка и испытание изоляции цепей возбуждения не имеют существенных отличий от таких же операций в других цепях. Допустимые величины сопротивления изоляции и испытательных напряжений цепей возбуждения приведены в табл. VII.2 и VII.3.

Проверка измерительных приборов (амперметра возбуждения) проводится с учетом сопротивления соединительных проводов, составляющего значительную часть общего сопротивления цепи прибора.

Проверка и испытания реостатов возбуждения и гасительных сопротивлений

Проверяется состояние механической части реостата и надежность его контактных соединений, изоляции; величины испытательных напряжений приведены в табл. VII.3, величины сопротивления изоляции не нормируются, но должны быть не менее 5—10 *Мом*. Измеряется сопротивление постоянному току гасительных сопротивлений и реостата возбуждения на каждой ступени (результаты измерений не должны отличаться от заводских данных более чем на 10%).

Проверяется соответствие реостата возбуждения возбудителю.

Номинальный ток реостата, указанный в паспорте, должен быть не менее максимального тока возбуждения возбудителя, а общее сопротивление постоянному току реостата должно быть больше сопротивления обмотки возбуждения возбудителя в 15—20 раз.

Величина гасительного сопротивления ротора СГ $R_г = (4—5)\ R_р$, а величина гасительного сопротивления возбудителя $R_{гв} = 10R_{ОВ}$, где $R_р$ и $R_{ОВ}$ — сопротивления обмотки ротора и обмотки возбуждения возбудителя в горячем состоянии.

Величина разрядного сопротивления обмотки ротора синхронного двигателя принимается равной 10-кратному сопротивлению обмотки ротора.

Проверка и наладка автоматов гашения поля

В объем наладки автомата гашения поля (АГП) завода ХЭМЗ входит ревизия, испытание и наладка привода и аппаратуры управления, проверка и регулировка главных и блокировочных контактов, испытание изоляции автомата, измерение сопротивления постоянному току и минимального напряжения срабатывания катушек автомата, измерение времени включения и отключения АГП, проверка взаимодействия элементов схемы дистанционного управления, сигнализации и защиты при $U_{ном}$ и $0{,}8U_{ном}$ оперативного тока.

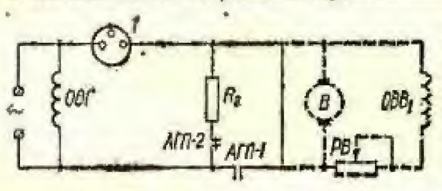


Рис. VII.18. Схема проверки последовательности работы контактов автомата гашения поля.

Величина испытательного напряжения изоляции приведена в табл. VII.3. Величина сопротивления изоляции отдельных элементов АГП не нормируется, но вместе с цепями возбуждения должна составлять не менее 1 *Мом*.

Последовательность работы главных контактов АГП проверяется по схеме, приведенной на рис. VII. 18, при отсоединенных кабелях возбудителя и ротора. При многократных включениях и отключениях АГП неоновая лампа, используемая в качестве индикатора, не должна гаснуть, если последовательность действия контактов правильная (при отключении АГП сперва замыкаются нормально замкнутые контакты, затем размыкаются нормально разомкнутые; при включении сначала замыкаются нормально разомкнутые контакты, затем размыкаются нормально замкнутые). Применять вместо неоновой лампу накаливания или стрелочный прибор не следует, так как они могут не отреагировать на кратковременное размыкание цепи при неправильной последовательности действия контактов АГП.

Сопротивление главных контактов, измеренное микроомметром или двойным мостом (см. гл. II), не должно превышать 50 *мком*.

Определение времени включения и отключения АГП проводится по схемам, приведенным в гл. XII.

Наладка АГП, предназначенных для гашения поля ротора без использования специальных гасительных сопротивлений (за счет рассеяния запасенной в роторе энергии в электрической дуге, возникающей при размыкании цепи ротора главными контактами автомата), рассматривается на примере автомата АГП-1.

При наладке автоматов типа АГП-1 выполняются следующие работы.

1. Проверяют соответствие АГП номинальному току ротора генератора.

2. Проверяют правильность сборки дугогасительной решетки. Для этого ее частично разбирают (в последовательности, изложенной в заводской инструкции) и проверяют пробником, нет ли замыкания между пластинами решетки; устанавливают соответствие общего числа промежутков и шунтирующих сопротивлений номинальному току и напряжению ротора генератора; правильность установки катушек радиального дутья (их поля направлены навстречу друг другу, а направление выреза соответствует направлению вращательного движения дуги в камере).

3. Проверяют очередность работы главных и дугогасительных контактов. Для этого следует снять камеру «поперечного дутья» или отвести назад каретку с контактной системой (чтобы получить доступ к дугогасительным контактам) и медленно включить и отключить АГП штурвалом ручного управления. Наблюдая за работой контактов, следует убедиться, что первыми при включении замыкаются дугогасительные контакты, а при отключении первыми размыкаются главные контакты. Фиксирование работы главных контактов может производиться пробником, но для этого нужно между дугогасительными контактами прокладывать изоляционную пластину.

4. Проверяют правильность регулировки дугогасительных контактов. При этом следует убедиться, что: а) указательный штифт дугогасительных контактов, контролирующий степень износа их, выступает над латунной скобкой не менее чем на 6 *мм*; б) раствор дугогасительных контактов в положении «отключено» составляет не менее 40 *мм*; в) свободный ход дугогасительного контакта в районе контактной напайки при разомкнутом автомате должен быть не более 4 *мм*.

5. Измеряют переходное сопротивление контактов двойным мостом или микроомметром. Сопротивление должно быть не более 20 *мком*.

6. После установки камеры поперечного дутья проверяется направление магнитного поля в зазоре камеры, для чего в зазор вводится проволока и по ней от батарейки пропускается ток той же полярности, что и ток нагрузки («+» должен быть снизу камеры). Проводник с током должен выталкиваться в сторону дугогасительной решетки.

7. Напряженность магнитного поля в зазоре у входа в дугогасительную решетку измеряют вебермстром, причем напряженность поля должна быть не менее $28 \cdot 10^3$ *а/м*.

8. После полной сборки автомата измеряют величины сопротивлений, включенных параллельно части пластин секций дугогасительной решетки, и выполняют перечисленные выше проверки и испытания, предусмотренные объемом наладочных работ АГП завода ХЭМЗ.

Опробование и проверка системы возбуждения на вращающейся СМ

После проверки элементов системы возбуждения проводится опробование ее на вращающейся машине.

У синхронных компенсаторов и электродвигателей, которые возбуждаются от отдельно стоящих возбудителей, первое опробование выполняется включением приводного двигателя возбудителя при полностью введенном шунтовом реостате и вынутых щетках ротора. При проверке системы возбуждения синхронных двигателей и компенсаторов необходимо иметь в виду, что пуск их сопряжен с опасностью появления чрезмерных перенапряжений на обмотке ротора (при пуске с разомкнутой обмоткой ротора или при неправильной последовательности действия контактов АГП) или нагревания пусковой клетки сверх

допустимых пределов при нескольких пусках подряд или при затянувшемся асинхронном режиме с нагрузкой на валу двигателя. У турбогенераторов, возбуждение которых осуществляется от возбудителей, установленных на одном валу с генератором, систему возбуждения следует опробовать при пониженной скорости в процессе разворота турбины.

Способы снятия характеристик возбудителя, определения постоянных времени, измерения скорости нарастания напряжения возбудителя рассмотрены выше.

Измерение вибрации СМ

Наибольшие допустимые величины вибрации (удвоенной амплитуды колебаний) подшипников СГ и СК измеряются в трех направлениях (у гидрогенераторов вертикального исполнения измеряется вибрация крестовины с встроенными в нее направляющими подшипниками).

Предельные величины вибрации подшипников (крестовины) генератора и возбудителя таковы:

Номинальная скорость вращения ротора, *об/мин*	3000	1500	1000—500	375—214	187—62,5
Вибрация, *мк*	50	70	100	120	180

Предельные величины вибрации подшипников синхронных двигателей приведены в гл. VIII. Сведения об измерении вибрации см. в гл. V.

Проверка фазировки генераторов с сетью и синхронизационных устройств

Включение синхронного генератора на параллельную работу с сетью, на которую работают другие генераторы, является сложной и ответственной операцией.

Как известно, включение генератора на параллельную работу методом точной синхронизации возможно только при следующих условиях:

1) равенство эффективных значений напряжений (допустимое расхождение около 5%);

2) равенство частот напряжений (допустимое расхождение около 0,1%);

3) совпадение фаз напряжений.

Выравнивание напряжений достигается регулятором возбуждения, выравнивание частот — воздействием на двигатель регулятора скорости турбины. Момент совпадения фаз напряжений определяют по синхроноскопу. Импульс на включение выключателя при синхронизации должен быть дан до подхода стрелки синхроноскопа к синхронному положению с учетом собственного времени включения выключателя.

В программу наладки устройств синхронизации входит:

1) проверка принципиальных и монтажных схем;

2) проверка цепей напряжения и оперативных цепей синхронизации (в том числе и шинок) и испытание их изоляции;

3) проверка приборов колонки синхронизации;

4) проверка и настройка реле блокировки от несинхронных включений;

5) опробование всей схемы рабочим напряжением с проверкой работы устройства при синхронном и несинхронном напряжении.

Проверка схем, проверка цепей и испытание их изоляции не имеют каких-либо особенностей.

Вольтметры и частотомеры колонки синхронизации проверяют в том же объеме, что и другие щитовые приборы. Особенность проверки лишь та, что эти приборы проверяют попарно, с тем чтобы показания приборов, предназначенных для сравнения параметров генератора и сети, были одинаковыми.

Для проверки синхроноскопа к его трехфазной обмотке нужно подвести трехфазное напряжение 100 *в*. При помощи фазоуказателя или другого аналогичного прибора нужно убедиться, что напряжение, обозначенное буквами *a* — *b* — *c*, действительно имеет прямое чередование фаз. Затем нужно соединить свободный вывод однофазной обмотки синхроноскопа *a'* с выводом *a* трехфазной обмотки. При этом стрелка синхроноскопа должна стать против красной черты прибора, что соответствует точной синхронизации. Если подключить конец однофазной обмотки к фазе *c*, то стрелка синхроноскопа повернется влево на 60°.

При наличии фазорегулятора рекомендуется подать на однофазную обмотку напряжение 100 *в* от фазорегулятора и, сделав полное изменение фазы в одну, а затем в другую сторону, убедиться при этом, что стрелка синхроноскопа плавно следует за изменением фазы фазорегулятора.

Проверка и настройка реле блокировки от несинхронных включений (реле типа РН-55) рассмотрена в гл. XVII.

Опробование всей схемы рабочим напряжением выполняется одновременно с проверкой совпадения чередования фаз генератора и сети следующим образом. На трансформатор напряжения одной из выделенных для проверки систем шин подается напряжение поочередно от сети и от испытуемого генератора; в обоих случаях проверяется по подключенному к трансформатору напряжения фазоуказателю чередование фаз. При подаче на выделенную систему шин напряжения испытуемого генератора одновременно с проверкой его чередования фаз включается колонка синхронизации и проверяется по показаниям приборов колонки равенство напряжений, частот и положение стрелки синхроноскопа, которое должно соответствовать синхронизму. (Проверка синхронизационных устройств синхронным рабочим напряжением может быть также выполнена подачей напряжения сети на трансформатор напряжения генератора).

Для проверки синхронизационного устройства на несинхронном напряжении на колонку синхронизации подается напряжение от сети и от испытуемого генератора.

Изменением возбуждения генератора и скорости вращения турбины проверяют соответствие показаний приборов изменяемым параметрам генератора; направление и скорость вращения стрелки синхроноскопа должны соответствовать знаку и величине разности частот генератора и сети.

В случаях, когда для проверки не может быть выделена система или секция шин с шинным трансформатором напряжения, фазировку генератора с сетью и проверку синхронизационного устройства можно выполнить при помощи двух отдельно устанавливаемых однофазных трансформаторов напряжения, включаемых, как указано на рис. VII.19.

Ко вторичным обмоткам трансформаторов напряжения подсоединяются вольтметры (либо лампы), выбранные на двойное напряжение и размещаемые рядом с проверяемым синхронизационным устройством. Если показания обоих вольтметров будут изменяться синхронно (лампы будут загораться и тухнуть одновременно), чередование фаз генератора и сети совпадает. Момент прохождения стрелки синхроноскопа через нулевую черту должен совпадать с моментом прохождения стрелок обоих вольтметров через нулевое значение, а максимальные показания вольтметров (яркое горение ламп)— соответствовать моменту прохождения стрелки синхроноскопа через положение 180°.

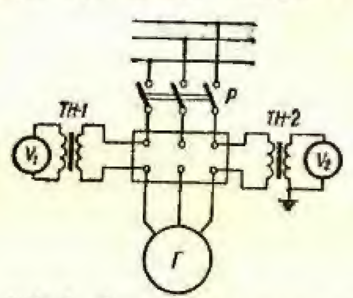


Рис. VII.19. Схема проверки устройства синхронизации с помощью выносных трансформаторов напряжения.

Включение генератора на параллельную работу можно выполнить также способом самосинхронизации.

Самосинхронизация не требует точной подгонки напряжения, частоты и фазы, так как генератор включается в сеть без возбуждения. Возбуждение же подается после включения в сеть, при этом генератор втягивается в синхронную работу с сетью.

Условия включения генератора в сеть при самосинхронизации следующие.

1. Число оборотов генератора должно быть близко к синхронному. Отклонение возможно не больше чем на 2—3%. Величина допустимой разности частот сети и генератора 1,5 *гц*. Для аварийных режимов в энергосистеме эта величина устанавливается в зависимости от типа генератора и мощности энергосистемы.

2. Генератор включается в сеть в невозбужденном состоянии с обмоткой ротора, замкнутой на гасительное сопротивление или на якорь возбудителя.

Включение генератора с разомкнутой обмоткой ротора недопустимо. Перед включением генератора реостат возбуждения возбудителя (и подвозбудителя) должен находиться в рабочем положении. Реостат автоматического регулятора возбуждения (АРВ) устанавливается в положение, соответствующее 20—40% номинальной нагрузки генератора.

Устройство форсировки возбуждения, компаундирования или автоматический регулятор напряжения (АРН) необходимо включить перед включением генератора или одновременно с ним.

Испытание турбогенератора в асинхронном режиме

Работа турбогенератора в асинхронном режиме, т. е. работа при потере возбуждения, допустима только для ТГ с массивными роторами и стальными бандажами. Для ТГ с наборными роторами и проволочными бандажами, а также для ГГ асинхронный режим недопустим. Испытаниями устанавливается максимально допустимая нагрузка в этом режиме.

Испытание выполняется в следующем порядке. На ТГ, работающем параллельно с сетью, при неизменной нагрузке записывают показания всех приборов. Отключают автомат гашения поля (АГП), и ТГ переходит в асинхронный режим работы. Записываются показания всех приборов при работе в этом режиме. Включается АГП, генератор втягивается в синхронизм. После восстановления синхронного режима вновь записываются показания всех приборов.

Испытания выполняются без воздействия на серводвигатель турбины и при неизменном положении реостата возбудителя.

Для контроля скольжения устанавливается вольтметр, которым измеряют напряжение на кольцах ротора. Скольжение определяется по числу полных колебаний стрелки этого вольтметра или стрелки амперметра в цепи статора:

$$s = \frac{N_р \cdot 100}{tf} = \frac{2N_р}{t} \ [\%] \qquad \text{(VII.42)}$$

или

$$s = \frac{N_{ст} \cdot 100}{2tf} = \frac{N_{ст}}{t} \ [\%], \qquad \text{(VII.43)}$$

где f — частота сети (50 *гц*), $N_р$ и $N_{ст}$ — число полных колебаний стрелок приборов в цепи соответственно ротора и статора за время t. Число колебаний стрелки амперметра в цепи статора в два раза больше числа колебаний стрелки вольтметра ротора.

В асинхронном режиме ТГ испытывают при трех нагрузках: 0,5 $P_{ном}$; 0,7$P_{ном}$ и (0,8 ÷ 1,0) $P_{ном}$. Продолжительность работы в асинхронном режиме при этих испытаниях, как правило, не превышает 2 *мин*. Она определяется временем, необходимым для записи показаний приборов. В течение этого времени допускается перегрузка по току статора.

АРН на испытуемой машине во время испытания отключается; на остальных работающих машинах они должны быть включены. При испытаниях необходимо следить за тем, чтобы напряжение снижалось в допустимых пределах. Величина допустимой нагрузки генератора в асинхронном режиме на основании результатов испытаний определяется из следующих условий.

1. Ток статора не должен превышать указанных ниже значений:

Кратность тока по отношению к номинальному току турбогенератора	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	2
Продолжительность работы в асинхронном режиме, *мин*	60	15	6	5	4	3	2	1

2. Потери в роторе, обусловленные скольжением, не должны превышать потери на возбуждение при номинальном режиме:

$$P_р = 0{,}01 P_2 s \ [квт]. \qquad \text{(VII.44)}$$

где P_2 — мощность, отдаваемая генератором в сеть, *квт*; s — скольжение, %.

Испытание активной стали статора на нагрев

Активная сталь испытывается на нагрев переменным магнитным потоком в спинке статора СМ. Испытания производятся при выведенном роторе.

Магнитный поток создается намагничивающей обмоткой, которая наматывается через расточку статора (рис. VII.20).

Число витков намагничивающей обмотки

$$W_1 = \frac{U}{4{,}44fqB} \cdot 10^4, \qquad \text{(VII.45)}$$

где U — действующее значение напряжения намагничивающей обмотки, *в*; B — индукция, *тл*; q — поперечное сечение спинки статора, *см*²; f — частота подводимого напряжения, *гц*.

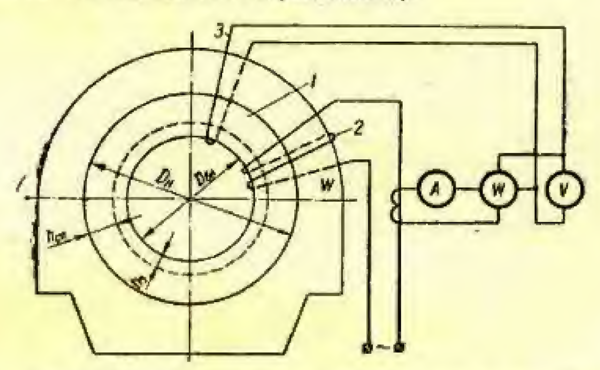


Рис. VII.20. Схема испытания на нагрев активной стали статора СМ:

1 — активная сталь статора; *2* — намагничивающая обмотка; *3* — контрольная обмотка.

Испытание следует проводить при магнитной индукции в спинке статора $B = 1$ *тл* и $f = 50$ *гц*. Тогда

$$W_1 = \frac{45U}{q}. \qquad \text{(VII.46)}$$

Поперечное сечение спинки статора

$$q = (l - nb_s)\, h_{сп} k_{ст}\ [см^2], \qquad \text{(VII.47)}$$

где n — число вентиляционных каналов; b_s — ширина вентиляционного канала, *см*; l — длина спинки статора, *см*; $h_{сп}$ — высота спинки статора, *см*; $k_{ст}$ — коэффициент заполнения активной стали (табл. VII.12).

Высота спинки статора

$$h_{сп} = \frac{D_н - D_в}{2} - h_з, \qquad \text{(VII.48)}$$

где $D_н$ и $D_в$ — соответственно наружный и внутренний диаметры активной стали статора, *см*; $h_з$ — высота зуба или глубина паза, *см* (рис. VII.21).

Если в спинке статора имеются отверстия диаметром $d_{отв}$ для стяжных болтов,

$$h_{сп} = \frac{D_н - D_в}{2} - h_з - d_{отв}. \qquad \text{(VII.49)}$$

Повысив напряжение источника питания намагничивающей обмотки, можно увеличить число ее витков и таким образом приблизить условия испытания к расчетным.

Таблица VII.13

Коэффициент заполнения активной стали

Вид изоляции листов стали статора	Коэффициент заполнения стали при толщине	
	0,5 *мм*	0,35 *мм*
Оклейка бумагой	0,89	0,85
Лакировка	0,91	0,87

Для создания в спинке статора индукции $B = 1$ *тл* необходим ток намагничивающей обмотки

$$I_{нам} = \frac{3{,}3\,(D_н - h_{сп})\, aw}{W_1}, \qquad \text{(VII.50)}$$

где aw — удельные ампервитки (для высоколегированной стали марок Э3, Э4 $aw = 2$—$2{,}5$ *ав/см*).

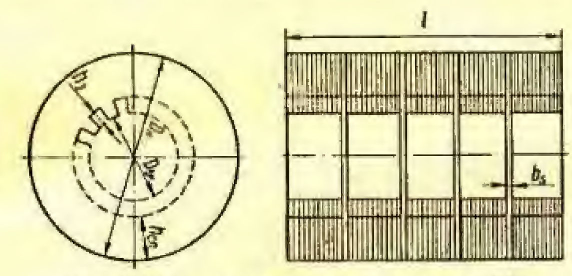


Рис. VII.21. Активная сталь статора СМ.

На расстоянии четверти длины окружности от намагничивающей обмотки на статор накладывается контрольная обмотка, которая служит для определения магнитного потока в спинке статора.

Число витков контрольной обмотки

$$W_2 = W_1 \frac{U_2}{U_1}, \qquad \text{(VII.51)}$$

где U_2 — желательное напряжение на зажимах контрольной обмотки. Величина напряжения U_2 выбирается из условий удобного отсчета показаний по шкале вольтметра.

Кажущаяся (S) и активная (P) мощности источника питания вычисляются по формулам

$$S = \frac{UI}{1000}\ [\text{ква}], \qquad \text{(VII.52)}$$

$$P = \rho g\ [\text{квт}], \qquad \text{(VII.53)}$$

где ρ — удельные потери в активной стали для данной величины индукции, *вт/кг*; g — вес активной стали без зубцового слоя, причем

$$g = 24{,}5 D_0 q 10^{-3}\ [\text{кг}], \qquad \text{(VII.54)}$$

где D_0 — средний диаметр активной стали статора, *см*.

Значения основных параметров для расчета намагничивающей обмотки ТГ завода «Электросила»:

B, тл	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
ρ, *вт/кг*	0,55	0,72	1,08	1,41	2,2

Перед началом испытания проверяют напряжение на зажимах контрольной обмотки путем пробного включения намагничивающей обмотки. После 10-минутного испытания снимают напряжение и проверяют наощупь нагрев стали по всей расточке статора. В наиболее холодные зубцы закладывают термопары или термометры и включают напряжение. Через 10 *мин* вновь снимают напряжение и наощупь определяют температуру зубцов. Термопары или термометры устанавливают в зубцах с повышенным нагревом. Остальные термопары и термометры располагают равномерно по расточке и длине статора. Затем опять включают напряжение и в течение 90 *мин* прогревают сталь статора. Показания термометров записывают через каждые 10 *мин*.

Если по окончании прогрева максимальный перегрев не превышает 45° С, максимальная разность перегревов между отдельными зубцами 25° С, удельные потери 2,5 *вт/кг* для легированной стали, состояние активной стали статора считается удовлетворительным.

Если величина индукции в спинке статора B не равна 1 *тл*, то можно привести потери активной мощности к индукции, равной 1 *тл*, используя формулу

$$P_1 = P_{\text{оп}} \left(\frac{1}{B_{\text{оп}}} \right)^2, \qquad \text{(VII.55)}$$

где $P_{\text{оп}}$ и $B_{\text{оп}}$ — опытные значения активной мощности и индукции.

Удельные потери определяют из выражения

$$\Delta P = \frac{P_1}{g}\ [\text{вт/кг}], \qquad \text{(VII.56)}$$

где P_1 — потери активной мощности, приведенные к индукции 1 *тл*, *вт*; g — вес активной стали статора, *кг*.

При повышении температуры какой-либо точки активной стали статора до 100° С, а также при появлении дыма (искр) в намагничивающей обмотке или в статоре испытания следует немедленно прекратить. Корпус и обмотку статора при испытаниях необходимо надежно заземлять.

Глава VIII

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Объемы и нормы испытаний

Вводимые в эксплуатацию двигатели переменного тока необходимо подвергать приемо-сдаточным испытаниям согласно ПУЭ в следующем объеме.

1. Определение возможности включения электродвигателей напряжением выше 1000 *в* без сушки.

2. Измерение сопротивления изоляции:

а) обмотки статора электродвигателя напряжением до 1000 *в* мегомметром на напряжение 1000 *в* (величина сопротивления изоляции не нормируется);

б) обмотки ротора синхронных электродвигателей и электродвигателей с фазовым ротором напряжением до 1000 *в* мегомметром на напряжение 1000 *в* (величина сопротивления изоляции не нормируется);

в) термодетекторов мегомметром на напряжение 250 *в* (величина сопротивления изоляции не нормируется);

г) подшипников синхронных электродвигателей напряжением свыше 1000 *в* (величина сопротивления изоляции не нормируется).

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

4. Измерение сопротивления постоянному току:

а) обмоток статора и ротора электродвигателей напряжением свыше 1000 *в*, мощностью 300 *квт* и более (разница между измеренными величинами сопротивления обмоток различных фаз или между измеренными и заводскими данными допускается не более 2%);

б) реостатов и пускорегулировочных сопротивлений на всех ответвлениях для электродвигателей напряжением свыше 1000 *в*. У остальных электродвигателей измеряется общее сопротивление и проверяется целость отпаек. Разница между измеренным сопротивлением и паспортными данными допускается не более 10%.

5. Измерение зазоров между сталью ротора и статора электродвигателей мощностью 100 *квт* и более, если позволяет конструкция. Разница между воздушными зазорами в диаметрально противоположных точках или точках, сдвинутых относительно оси ротора на 90°, и средним воздушным зазором допускается не более 10%.

6. Измерение зазоров в подшипниках скольжения. Предельные величины зазоров в подшипниках скольжения электродвигателей приведены в табл. V.5.

7. Проверка работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом. Величина тока холостого хода электродвигателя не нормируется. Продолжительность проверки — 1 *ч*.

8. Измерение вибрации подшипников электродвигателя.

Допустимые амплитуды вибрации подшипников электродвигателей:

Синхронная скорость вращения, *об/мин*	3000	1500	1000	750 и ниже
Допустимая амплитуда вибрации подшипника, *мк*	50	100	130	160

9. Измерение разбега ротора в осевом направлении для электродвигателей, имеющих подшипники скольжения (допустима величина разбега не более 2 ÷ 4 *мм*).

10. Гидравлическое испытание воздухоохладителя гидравлическим давлением 2—2,5 *ат* (длительность испытания 5—10 *мин*).

11. Проверка работы электродвигателя под нагрузкой.

Электродвигатели напряжением ниже 1000 *в* мощностью до 300 *квт* испытываются по пп. 2, 4б, 5, 6 и 9; остальные электродвигатели испытываются в полном объеме, предусмотренном настоящим параграфом.

Методика испытаний по пп. 1, 2, 4, 5, 6, 8 рассмотрена в гл. V.

При наладке электродвигателей для определения некоторых параметров и решения других вопросов часто возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Внешний осмотр

Основные указания по осмотру ЭМ приведены в гл. V и VII.

У машин с фазовым ротором при внешнем осмотре проверяют состояние колец (нет ли выбоин, глубоких царапин, пятен коррозии), состояние щеток и тип последних (табл. VIII.1), действие механизма, замыкающего кольца накоротко (убеждаются, что усилие при подъеме

Таблица VIII.1

Характеристика электрощеток АД

Вид щеток	Условия работы			Рекомендуемые марки	
	Плотность тока, *а/см²*	Окружная скорость, *м/сек*	Удельное нажатие, *г/см²*	Основные	Дополнительные
Поднимающиеся	20	15	180—230	Бронзо-графитные МГС	—
	20	20	170—220	—	Бронзо-графитные БГ
	20	20	180—230	—	Медно-графитные МГ
	15	20	200—250	—	То же МГ-4
Постоянно налегающие	20	15	180—230	Бронзо-графитные МГС	—
	15	20	200—250	То же МГ-4	—
	12	40	150—200	Электрографитированные ЭГ-4	—
	15	25	150—200	Медно-графитные М-1	Медно-графитные М-6
	10—11	25	200—250	—	Графитные Г-3

щеток невелико, опущенные щетки достаточно сильно прижимаются к поверхности колец, крайние положения четко фиксируются, контакты, замыкающие кольца, смазаны тонким слоем вазелина).

Проверка правильности маркировки выводов и полярности обмоток

Обозначение выводов

Предусмотренные ГОСТом 183-66 обозначения выводов ЭМ переменного тока приведены в гл. VII.

Обычно выводы всех фаз ОС присоединяют к зажимам, как указано на рис. VIII.1, *а*. В некоторых машинах ОС наглухо соединены в звезду и на доску зажимов выведены только четыре вывода: фазы С1, С2, С3 и нулевая точка 0.

Если маркировки выводов обмоток нет, то ее определяют индуктивным методом на постоянном или переменном токе. Маркировку выводов обмоток крупных машин рекомендуется проверять даже при наличии заводских данных. Предварительно находят парные выводы фазы с помощью контрольной лампы, пробника или мегомметра. На каждый вывод фазы надевают бирку с маркировкой фаз.

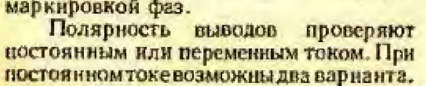
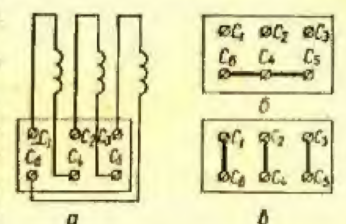



Рис. VIII.1. Схемы соединения ОС с выводными зажимами (*а*), включением в звезду (*б*) и в треугольник (*в*).

Полярность выводов проверяют постоянным или переменным током. При постоянном токе возможны два варианта.

а. Маркировку выводов проверяют или определяют с помощью аккумулятора (или сухого элемента) и вольтметра. Батарею включают импульсом на одну из фаз (рис. VIII.2, *а*), к другим фазам поочередно

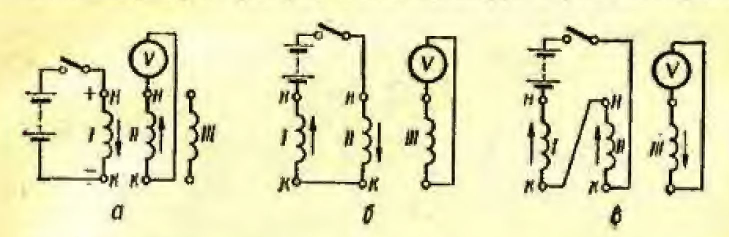


Рис. VIII.2. Схемы проверки маркировки выводов статора с помощью источника постоянного тока (*Н* и *К* — соответственно начала и концы обмоток I, II, III).

присоединяют вольтметр. Пересоединяя выводы, подбирают такое включение вольтметра, при котором в момент подачи напряжения от батареи стрелка прибора отклоняется вправо. В этом положении к плюсу батареи и минусу вольтметра подключены начала фазных обмоток. Для контроля батарею следует перенести на другую фазу и повторить опыт.

б. Две фазы соединяют последовательно (попарно) между собой и импульсами включают на батарею. К третьей фазе присоединяют вольтметр. Если первые две фазы соединены одноименными зажимами (рис. VIII.2, *б*), вольтметр не реагирует на включение батареи импульсом. При соединении фаз разноименными зажимами (рис. VIII.2, *в*) в момент включения и отключения батареи стрелка вольтметра отклоняется.

Если полярность выводов проверяют напряжением переменного тока, то при одинарных обмотках в каждой фазе статора две произволь-

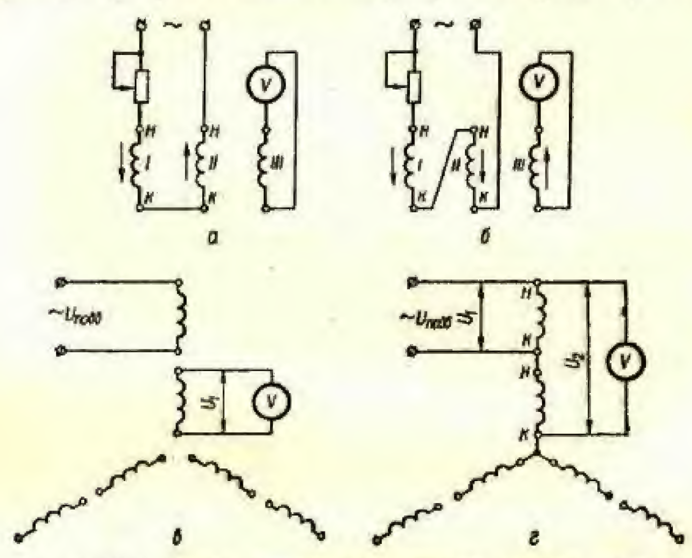


Рис. VIII.3. Схемы проверки маркировки выводов статора с помощью источника переменного тока:

а — подключение питания к началу двух обмоток; *б* — подключение питания к началу одной обмотки и концу второй; *в* — проверка соединений составных частей обмотки; *г* — определение полярности составных частей обмотки; $U_{подв}$ — подведенное напряжение.

ные фазы соединяют последовательно и включают на пониженное напряжение сети переменного тока. К третьей, свободной фазе подключают вольтметр переменного тока или лампу.

Если первые две фазы соединены одноименными выводами (рис. VIII.3, *а*), то вольтметр (лампа) не покажет напряжения на третьей фазе. При соединении двух фаз разноименными зажимами (рис. VIII.3, *б*) вольтметр (лампа) показывает напряжение. Аналогично определению взаимного соответствия выводов первых двух фаз маркируют выводы третьей фазы.

Соединение отдельных частей составной обмотки проверяют на переменном токе с помощью вольтметра (рис. VIII.3, *в*). Подавая переменный ток в одну часть обмотки, находят другую часть обмотки этой фазы по наибольшему из измеренных напряжений. Аналогично проверяют остальные фазы. Полярность составных частей обмотки определяют по схеме, указанной на рис. VIII.3, *г*.

В случае соединения разноименных выводов частей обмотки, принадлежащих одной фазе, величина напряжения U_2, измеренного вольтметром, близка к нулю. Аналогично определяют полярность остальных частей обмотки.

Соединение ОС двигателя с фазным ротором может быть проверено следующим образом. В ротор подают трехфазное симметричное напряжение, не превышающее номинальное напряжение ротора, и измеряют напряжение статора. При правильном соединении ОС напряжение на его выводах будет симметричным. Если же переключением выводов ОС симметрии достигнуть не удается, значит, перевернута одна или несколько катушек ОС или фаза ОР.

Количество полюсов обмотки статора можно определить так. К выводам статора подключается гальванометр постоянного тока. При проворачивании вручную ротора машины под действием его остаточного магнетизма в обмотке статора появляется э. д. с., вызывающая периодическое отклонение стрелки гальванометра. Число отклонений стрелки в каждую сторону соответствует числу полюсов ротора одной полярности, прошедших линию данной фазы статора.

Во избежание ошибки следует произвести несколько оборотов и подсчитать число отклонений стрелки прибора в одну сторону. Число пар полюсов машины

$$p = \frac{a}{n}, \qquad \text{(VIII.1)}$$

где a — число отклонений стрелки прибора в одну сторону; n — число произведенных оборотов.

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Методика испытаний приведена в гл. III, V. Величины испытательных напряжений приведены в табл. VIII.2. Продолжительность испытания — 1 *мин*.

Определение направления вращения ротора электродвигателя

Для правильного направления вращения двигателя необходимо, чтобы фазировка питающего кабеля была согласована с маркировкой выводов статора. Чередование фаз проверяют фазоуказателем, если же его нет — пробным включением небольшого АД с проверенной маркировкой выводов статора. При проверке фазировки сети высокого напряжения фазоуказатель включают через трехфазный трансформатор напряжения.

Если стандартной маркировки выводов статора нет или она вызывает сомнение, то направление вращения можно определить одним из следующих способов.

Для АД высокого напряжения с короткозамкнутым ротором подается пониженное напряжение на статор и резко поворачивается ротор (вручную с помощью лома или краном). Двигатели с напряжением статора 6—10 *кв* удобно подключать к сети 380 *в*. Если амперметры в цепи статора во время толчка ротора в сторону требуемого направления

Таблица VIII.2

Нормы испытательных напряжений промышленной частоты для электродвигателей переменного тока

Объект испытаний	Мощность электродвигателя, квт	Номинальное напряжение электродвигателя, в	Испытательное напряжение, в	Примечание
Обмотки статоров	1—1000	<100	$0{,}8\,(1000 + 2U_{ном})$	
	1—1000	>100	$0{,}8\,(1000 + 2U_{ном})$ но не < < 1500 в	
	1000 и более	<3300	$0{,}8\,(1000 + 2\,U_{ном})$	
	1000 » »	3300—6600	$0{,}8 \cdot 2{,}5\,U_{ном}$	
	1000 » »	>6600	$0{,}8\,(3000 + 2\,U_{ном})$	
Обмотки роторов синхронных электродвигателей	—	—	$7{,}5\,U_{ном,\,возб}$ (не ниже 1100 в)	Для двигателя, предназначенного для непосредственного пуска со стороны переменного тока с обмоткой возбуждения, замкнутой на сопротивление или на источник своего питания
Обмотки ротора электродвигателей с фазовым ротором	—	—	$1{,}5\,U_{р}$ (не ниже 1000 в)	$U_{р}$ — напряжение на кольцах при разомкнутом и неподвижном роторе и полном напряжении на статоре
Реостаты и пускорегулирующие сопротивления	—	—	$1{,}5\,U_{р}$ (не ниже 1000 в)	
Сопротивление гашения поля синхронных электродвигателей	—	—	2000	

вращения покажут уменьшение тока, значит, чередование фаз источника питания правильное.

Определив фазоуказателем чередование фаз подведенного к двигателю напряжения 380 в, с помощью трансформатора напряжения подбирают такое же чередование фаз питающей сети высокого напряжения.

Для асинхронных двигателей высокого напряжения с фазовым ротором в обмотку ротора подают постоянный ток и поворачивают ротор в требуемом направлении. Ток ротора при испытании может составлять 5—10% номинального; к статору присоединяют указатель чередования фаз, который начинает работать во время толчка ротора.

Отметив выводы статора по маркировке фазоуказателя этим же прибором с помощью трансформатора напряжения, следует проверить чередование фаз питающего кабеля, после чего необходимо подключить кабель к соответствующим по маркировке выводам статора.

Описанный выше метод можно применять и к двигателям низкого напряжения, но в этом случае для повышения напряжения на зажимах фазоуказателя его подключают к выводам статора через два трансформатора (220/12).

В практике пуско-наладочных работ направление вращения ротора, как правило, определяется кратковременным включением двигателя в сеть.

Проверка симметричности обмотки короткозамкнутого ротора

Если в короткозамкнутом роторе имеется несимметричность (например, разрыв стержней, короткое замыкание колец и т. д.), обнаружить это можно следующим способом.

К ОС подают трехфазное напряжение, настолько пониженное, что ток короткого замыкания не может вызвать быстрого повышения ее температуры, ротор же медленно поворачивают вручную. При исправной обмотке ротора такое проворачивание не влияет на показания амперметров, включенных в цепь статора. Если же цепь обмотки ротора неисправна, то стрелки амперметров, показания которых должны быть одинаковыми, дают поочередные отклонения, тем более заметные, чем больше эта неисправность.

В двигателях с двойными короткозамкнутыми обмотками нижняя (рабочая) обмотка почти не участвует в электромагнитных процессах короткого замыкания. Это обстоятельство следует учитывать при испытании таких двигателей и все нарушения симметричности относить за счет верхней (пусковой) обмотки. Нижнюю обмотку проверяют под нагрузкой, при которой обнаруживается колебание стрелок амперметров в такт с удвоенным скольжением и зачастую, особенно в больших быстроходных машинах,— периодическое изменение шума.

Опыт короткого замыкания

Опыт короткого замыкания проводят для определения величины пускового тока и других параметров двигателя. Кроме того, режим короткого замыкания можно использовать для определения направления вращения двигателя и исправности силовых цепей. Опыт короткого замыкания имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при

его проведении. Опыт короткого замыкания проводят при неподвижном роторе.

Для двигателей с фазовым ротором обмотка ротора замыкается накоротко.

В условиях пуско-наладочных работ опыт короткого замыкания, как правило, выполняется на пониженном напряжении.

Опыт короткого замыкания можно проводить как при питании обмотки статора трехфазным током, так и при питании двух фаз обмотки статора однофазным током (рис. VIII.4). В этом случае опыт значительно проще, он может быть выполнен при питании обмотки статора номинальным напряжением (кратковременно). Измерения проводятся для каждой пары обмоток статора.

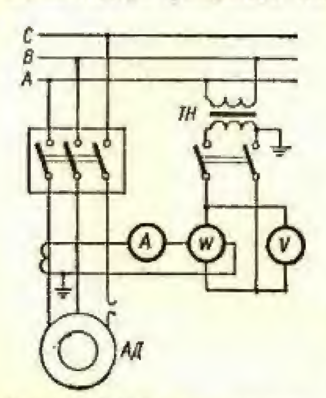


Рис. VIII.4. Схема проведения опыта однофазного короткого замыкания.

Для двигателей, имеющих контактные кольца, используется напряжение, не превышающее 50—60% номинального.

При проведении опыта производятся измерения токов статора, активной мощности, потребляемой из сети и линейного напряжения.

Данные, полученные из опыта короткого замыкания, позволяют определить ряд параметров двигателя.

Однофазная схема

Пусковой ток

$$I_п = \frac{2I_{оп}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{ном}}{U_{оп}} k_н, \qquad (VIII.2)$$

где $I_{оп}$ — среднее значение тока трех измерений при опыте короткого замыкания (питание однофазным током), *а*; $U_{оп}$ — среднее значение напряжения трех измерений при опыте короткого замыкания, *в*; $U_{ном}$ — номинальное напряжение двигателя, *в*; $k_н$ — коэффициент, учитывающий насыщение зубцов (при напряжении ниже номинального $k_н = 1,3 \div 1,5$, если же напряжение близко к номинальному, $k_н = 1$).

Суммарное активное приведенное сопротивление ротора и статора:

$$R_{к1-2} = \frac{P_{к1-2}}{2I^2_{оп1-2}}; \quad R_{к2-3} = \frac{P_{к2-3}}{2I^2_{оп2-3}}; \quad R_{к3-1} = \frac{P_{к3-1}}{2I^2_{оп3-1}}. \qquad (VIII.3)$$

Здесь $P_{к1-2}$, $P_{к2-3}$, $P_{к3-1}$ — мощность короткого замыкания соответственно между фазами 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1; $R_{к1-2}$, $R_{к2-3}$, $R_{к3-1}$, $I_{оп1-2}$, $I_{оп2-3}$, $I_{оп3-1}$ соответственно сопротивления и токи опыта короткого замыкания названных фаз.

Активное приведенное сопротивление ротора

$$R'_{2к} = \frac{R_{к1-2} + R_{к2-3} + R_{к3-1}}{3} - kR_1 = R_к - kR_1, \qquad (VIII.4)$$

где R_1 — измеренное сопротивление фазы статора, k — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления вследствие вытеснения тока (обычно $k = 1,05$).

Полное сопротивление обмоток двигателя

$$Z_к = \frac{1}{3}\left(\frac{U_{к1-2}}{2I_{оп1-2}} + \frac{U_{к2-3}}{2I_{оп2-3}} + \frac{U_{к3-1}}{2I_{оп3-1}}\right). \qquad (VIII.5)$$

Здесь $U_{к1-2}$, $U_{к2-3}$, $U_{к3-1}$ — напряжения между фазами при проведении опыта.

Реактивное сопротивление обмоток двигателя

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}. \qquad (VIII.6)$$

Трехфазная схема

Пусковой ток при номинальном напряжении

$$I_п = I_{оп} \frac{U_{ном}}{U_{оп}}. \qquad (VIII.7)$$

Активное приведенное сопротивление ротора

$$R'_{2к} = \frac{P_{к.в}}{3I^2_{оп}} - kR_1 = R_к - kR_1, \qquad (VIII.8)$$

где $P_{к.в}$ — мощность, измеренная по схеме двух ваттметров.

Полное сопротивление двигателя

$$Z_к = \frac{U_{к.з}}{\sqrt{3} I_{оп}}. \qquad (VIII.9)$$

Реактивное сопротивление

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}. \qquad (VIII.10)$$

Отношение максимального момента к номинальному (приближенно)

$$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = \frac{U^2_{ном}}{2P_{2ном}(R_1 + X_к)}, \qquad (VIII.11)$$

где $P_{2ном}$ — номинальная полезная мощность двигателя, указываемая на его табличке.

Отношение начального или пускового момента к номинальному (приближенно)

$$\frac{M_{нач}}{M_{ном}} = \frac{3I^2_{оп} R'_{2к}}{P_{2ном}}. \qquad (VIII.12)$$

Критическое скольжение при максимальном моменте

$$S = \frac{R'_{2к}}{\sqrt{R_1^2 + X_к^2}} \approx \frac{R'_{2к}}{X_к}. \qquad (VIII.13)$$

Примечания. 1. Полное сопротивление первичной обмотки (статора)

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}. \qquad (VIII.14)$$

Если двигатель имеет фазовый ротор, то индуктивные составляющие определяют по измеренному активному сопротивлению обмоток

расчетным путем:

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2}. \qquad \text{(VIII.15)}$$

2. Параметры вторичной обмотки (ротора) приводят к первичной обмотке по соотношениям

$$U_2' = k_т U_2, \qquad \text{(VIII.16)}$$

$$I_2' = \frac{I_2}{k_т}, \qquad \text{(VIII.17)}$$

$$R_2' = k_т^2 R_2, \qquad \text{(VIII.18)}$$

$$X_2' = k_т^2 X_2, \qquad \text{(VIII.19)}$$

где $k_т$ — коэффициент трансформации обмоток статора и ротора.

Опыт холостого хода АД

При пуско-наладочных и послеремонтных испытаниях опыт холостого хода, как правило, проводят в сокращенном объеме по упрощенной схеме (рис. VIII.5).

По измеренным величинам напряжения U_0, тока холостого хода I_0 и мощности холостого хода P_0 можно определить коэффициент мощности холостого хода

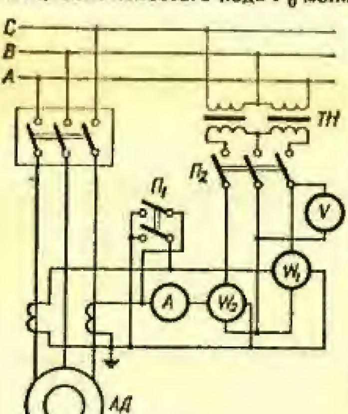


Рис. VIII.5. Схема проведения сокращенного опыта холостого хода.

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0 I_0}. \qquad \text{(VIII.20)}$$

Потери холостого хода P_0 складываются из потерь в ОС от тока холостого хода $\Delta P_{ом}$, потерь в стали статора $\Delta P_{ст}$ и механических $\Delta P_{мех}$. Потери в ОС определяют по таким формулам:

для соединения обмоток в звезду

$$\Delta P_{ом} = 3I_0^2 R_t; \qquad \text{(VIII.21)}$$

для соединения обмоток в треугольник

$$\Delta P_{ом} = I_0^2 R_t, \qquad \text{(VIII.22)}$$

где I_0 — потребляемый ток холостого хода; R_t — сопротивление одной фазы статора при температуре проведения опыта.

Сумма потерь в стали и механических потерь

$$\Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = P_0 - \Delta P_{ом}. \qquad \text{(VIII.23)}$$

Для отделения механических потерь от потерь в стали опыт необходимо провести при нескольких значениях подведенного к обмотке статора напряжения и построить кривую зависимости суммы потерь в стали и механических потерь от квадрата напряжения холостого хода и экстраполировать ее до пересечения с осью ординат (рис. VIII.6). Отрезок, отсекаемый на оси ординат, представляет механические потери двигателя.

Отделяя механические потери от потерь в стали, следует иметь в виду, что при очень низком напряжении потери могут увеличиваться (см. рис. VIII.6), так что эту часть кривой не следует учитывать при построении.

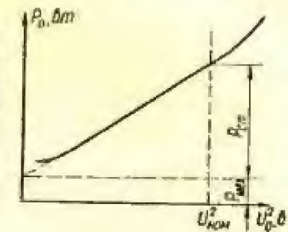


Рис. VIII.6. Зависимость суммы потерь в стали и механических потерь от квадрата напряжения.

До проведения опыта двигатель для обкатки подшипников должен проработать без нагрузки в течение 15—75 *мин*. Отклонение измеренных при проведении опыта величин от предыдущих испытаний свидетельствует о неисправности двигателя.

В двигателях с фазовым ротором при опыте холостого хода реостат в цепи ротора должен быть полностью выведен.

Испытание АД на нагрев

Методика испытаний приведена в гл. V.

На рис. VIII.7 в качестве примера приведена схема включения приборов для испытания двигателя на нагрев в режиме непосредственной нагрузки.

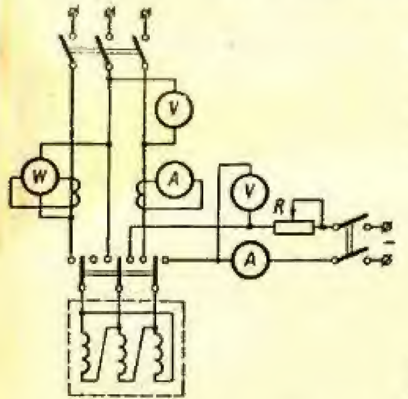


Рис. VIII.7. Схема включения приборов для снятия кривой превышения температур обмоток при нагрузке двигателя.

Контроль температуры обмоток в этой схеме осуществляется измерением омического сопротивления обмотки с помощью амперметра-вольтметра. В двигателях с фазовым ротором необходимо также контролировать температуру обмотки ротора.

Снятие рабочих характеристик АД

Под рабочими характеристиками следует понимать зависимость потребляемой мощности, тока, скольжения, к. п. д., момента и коэффициента мощности от полезной мощности при условии неизменности приложенного номинального напряжения и его частоты, т. е.

$$P_1 = f(P_2);\ I = f(P_2);\ S = f(P_2);\ \eta = f(P_2);\ M = f(P_2);$$
$$\cos\varphi = f(P_2).$$

9 1-531

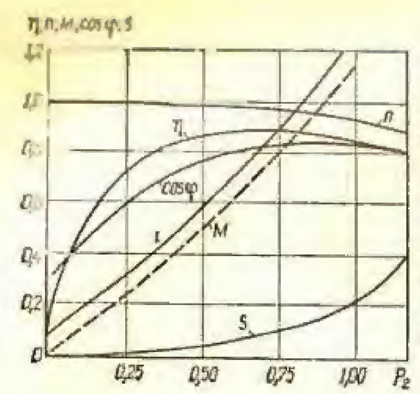


Рис. VIII.8. Рабочие характеристики АД.

Рабочие характеристики АД (рис. VIII.8) снимают при нескольких значениях нагрузки в пределах от перегрузки (не меньше 10% номинальной) до холостого хода. Снимать рабочие характеристики следует после испытания на нагрев, чтобы температура двигателя была близкой к его температуре при нормальной работе. Испытание следует вести, переходя от более высоких нагрузок к более низким.

При испытании многоскоростных двигателей рабочие характеристики должны быть сняты для каждой номинальной скорости вращения.

Измерение электрических величин при снятии рабочих характеристик

При снятии рабочих характеристик приложенное линейное напряжение $U_{ном}$ следует измерять тремя вольтметрами или вольтметром с переключателем. За действительное напряжение принимается среднее арифметическое трех измеренных значений

$$U_{ном} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3}. \qquad \text{(VIII.24)}$$

Действительный потребляемый линейный ток принимается как среднее арифметическое трех измеренных значений

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \qquad \text{(VIII.25)}$$

Потребляемая двигателем мощность измеряется по схеме двух ваттметров (или одним трехфазным ваттметром),

$$P_1 = C_{вт} k_{т.т} (a_1 + a_2), \qquad \text{(VIII.26)}$$

где $C_{вт}$ — постоянная ваттметра; $k_{т.т}$ — коэффициент трансформации ТТ; $a_1 + a_2$ — алгебраическая сумма показаний ваттметров.

Методика обработки результатов измерений такова.

Коэффициент мощности определяют по формуле

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_{ном} I}. \qquad \text{(VIII.27)}$$

К. п. д. находят косвенным методом отдельных потерь.

Механические потери двигателя $\Delta P_{мех}$ предполагаются постоянными, их определяют из опыта холостого хода методом разделения потерь. Так же получают потери в стали $\Delta P_{ст}$. Потери в обмотке статора рассчитывают по формулам:

соединение в звезду

$$\Delta P_{м_1} = 3 I_н^2 R_1, \qquad \text{(VIII.28)}$$

соединение в треугольник

$$\Delta P_{м_1} = I_н^2 R_1, \qquad \text{(VIII.29)}$$

где $I_н$ — ток нагрузки, *а*; R_1 — сопротивление одной фазы, приведенное к 75° С.

Потери в обмотке ротора

$$\Delta P_{м_2} = \frac{P_{эм}}{100} S. \qquad \text{(VIII.30)}$$

Здесь S — скольжение; $P_{эм}$ — электромагнитная мощность, т. е. мощность, передаваемая вращающимся полем со статора на ротор

$$P_{эм} = P_1 - (\Delta P_{м_1} + \Delta P_{ст}). \qquad \text{(VIII.31)}$$

Вращающий момент

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{P_{эм}}{2\pi n_1}, \qquad \text{(VIII.32)}$$

где n_1 — синхронная скорость вращения магнитного поля, *об/мин*.

Добавочные потери определяют условно; величину их принимают равной 0,5% потребляемой мощности, т. е.

$$\Delta P_д = 0{,}005 P_1. \qquad \text{(VIII.33)}$$

Полезную мощность двигателя находят как разность между потребляемой мощностью и суммой всех указанных потерь:

$$P_2 = P_1 - \Sigma\Delta P = P_1 - (\Delta P_{м_1} + \Delta P_{м_2} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_д). \qquad \text{(VIII.34)}$$

Тогда к. п. д.

$$\eta = 100\left(1 - \frac{\Sigma\Delta P}{P_1}\right) [\%]. \qquad \text{(VIII.35)}$$

Определение величины скольжения АД

Если число оборотов двигателя значительно отличается от синхронного, его измеряют тахометром, а скольжение определяют по формуле

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \qquad \text{(VIII.36)}$$

где n_1 — синхронное число оборотов,

$$n_1 = \frac{60}{p} f, \qquad \text{(VIII.37)}$$

n_2 — фактическое число оборотов двигателя.

Если скольжение не превышает 5%, число оборотов может быть измерено стробоскопическим методом с применением неоновой лампы. На торце вала двигателя мелом наносят диаметральную черту. Во время работы двигателя ее освещают неоновой лампой, которая питается от

сети той же частоты, что и двигатель. Наблюдатель видит на торце вала не черту, а звезду, медленно вращающуюся против направления враще-

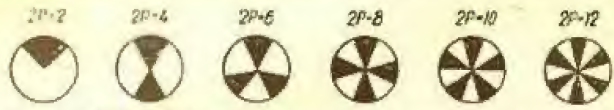
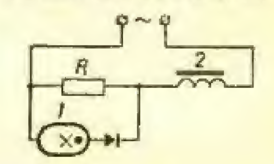


Рис. VIII.9. Изображение стробоскопических дисков в зависимости от количества пар полюсов АД.

ния вала. Количество лучей звезды зависит от числа пар полюсов двигателя и от положения неоновой лампы. Если свет от обоих электродов лампы падает на торец вала, число лучей кажущейся звезды равно $2p$. Если же торец вала с нанесенной меловой чертой освещается только одним электродом, число лучей кажущейся звезды равно числу пар полюсов.



За время t (предположим, 30 *сек*), измеряемое секундомером, подсчитывается количество лучей кажущейся звезды m, прошедших через вертикальное

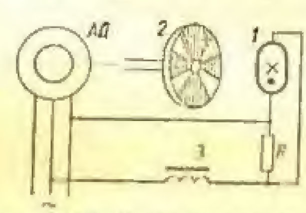


Рис. VIII.10. Схема включения неоновой лампы для стробоскопического метода определения скольжения:

1 — неоновая лампа; *2* — стробоскопический диск; *3* — индукционная катушка.

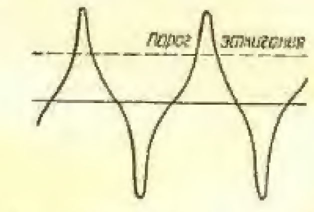


Рис. VIII.11. Схема включения неоновой лампы для получения острой формы кривой напряжения:

1 — неоновая лампа, *2* — реактивная катушка с сильно насыщенным магнитопроводом с индуктивным сопротивлением X (падения напряжения на сопротивлениях R и X примерно одинаковы).

положение. Поскольку число лучей кажущейся звезды равно $2p$, скольжение

$$S = \frac{m}{2f_1 t} 100 \ [\%]. \qquad \text{(VIII.38)}$$

Если же число лучей кажущейся звезды равно p,

$$S = \frac{m}{f_1 t} 100 \ [\%]. \qquad \text{(VIII.39)}$$

где f_1 — частота сети, питающей неоновую лампу.

При $f_1 = 50$ *гц*

$$S = \frac{m}{2f_1 t} 100 = \frac{m}{t}. \qquad \text{(VIII.40)}$$

Другой вариант стробоскопического метода заключается в следующем. На валу двигателя с торцовой стороны укрепляют один из дисков, показанных на рис. VIII.9. Собирают схему, приведенную на рис. VIII.10. У двухполюсной машины на валу закрепляют диск, обозначенный как $2p = 2$, и освещают его неоновой лампой с пятачковым электродом.

Ротор вращается несинхронно и отстает от поля, так что диск будет виден медленно вращающимся в сторону, обратную вращению ротора. Если за время t мимо неподвижной точки (стрелки, укрепленной на подшипнике) проходит m черных секторов, величина скольжения определяется по выражению (VIII.39). Счет проходящих секторов мимо неподвижной точки следует начинать не с момента пуска секундомера, а со следующего прохождения метки.

Для получения резкости изображения на лампу следует подавать напряжение, кривая изменения которого показана на рис. VIII.11. Лампа зажигается в тот момент, когда напряжение на ее зажимах достигает величины, называемой порогом зажигания.

Определение скольжения двигателя с помощью индукционной катушки

Этот метод основан на контроле скорости вращения потоков рассеивания ротора $Ф_р$ (рис. VIII.12), которые с частотой, пропорциональной скольжению, пересекают витки индукционной катушки. К выводам катушки подключают чувствительный милливольтметр (желательно с нулем посредине шкалы); катушку располагают у конца вала ротора. Поворачивая катушку в разные стороны, отыскивают положение, при котором наблюдаются максимальные колебания стрелки прибора. По числу полных колебаний k за время t рассчитывают величину скольжения

$$S = \frac{k}{tf} 100 \ [\%]. \qquad \text{(VIII.41)}$$

при $f = 50$ *гц*

$$S = \frac{2k}{t} \ [\%]. \qquad \text{(VIII.42)}$$

Для расчета удобно отсчитать 50 полных колебаний и по секундомеру отметить время. Тогда

$$S = \frac{2k}{t} = \frac{2 \cdot 50}{t} = \frac{100}{t} = \frac{1}{t} 100 \ [\%].$$

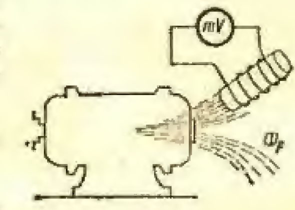


Рис. VIII.12. Схема измерения скольжения ротора АД с помощью индукционной катушки.

В качестве индукционной катушки можно использовать катушку реле или контактора постоянного тока, имеющую 10—20 тыс. витков (или намотать катушку с числом витков не менее 3000). Для усиления магнитного потока в катушку вставляют сердечник, набираемый из нескольких полос трансформаторной стали. Метод индукционной катушки весьма прост и пригоден для всех видов машин.

У двигателей с фазовым ротором, помимо описанных выше способов, скольжение может быть определено с помощью магнитоэлектрического амперметра, включаемого в одну из фаз ротора, а при наличии невыключаемого сопротивления в цепи ротора — с помощью вольтметра, присоединенного к кольцам ротора. Рекомендуется применять приборы

с двусторонней шкалой. Скольжение рассчитывается по числу полных колебаний стрелки прибора, так же как при использовании метода с индукционной катушкой.

Определение коэффициента трансформации для электродвигателей с фазовым ротором

Для определения коэффициента трансформации к обмотке статора при разомкнутой обмотке ротора подводят напряжение и измеряют линейные напряжения на выводах обмотки статора и на кольцах ротора.

Коэффициент трансформации определяют по формуле

$$k_т = \frac{U_{ст}}{U_р}, \qquad (VIII.43)$$

где $U_{ст}$ и $U_р$ — фазовые напряжения обмоток статора и ротора.

Измерение проводят для трех фаз. Действительным значением коэффициента трансформации считают отношение фазовых напряжений статора и ротора, определенных по средним арифметическим значениям измеренных линейных напряжений.

Для электродвигателей напряжением до 660 *в* к обмотке статора подводят номинальное напряжение, для двигателей с напряжением выше 660 *в* коэффициент трансформации определяют при пониженном напряжении.

Напряжение на разомкнутом роторе обычно на 3—5% ниже величины, определяемой соотношением чисел витков обмоток, что обусловливается падением напряжения в обмотке статора и наличием потоков рассеяния.

Вращающий момент асинхронных двигателей

Вращающий момент АД можно определить по формуле

$$M = \frac{m_1 U_ф^2 \frac{R'_{2к}}{S}}{\omega_c \left[\left(R_1 + \frac{R'_{2к}}{S}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2\right]} \ [н \cdot м]. \qquad (VIII.44)$$

Здесь m_1 — число фаз статора; U — фазовое напряжение сети, *в*; $R'_{2к}$ — приведенное активное сопротивление всей цепи ротора (включая сопротивление реостата), *ом*; X'_2 — приведенное реактивное сопротивление ротора, *ом*; R_1 и X_1 — соответственно активное и реактивное сопротивления статора, *ом*; S — скольжение,

$$S = \frac{n_c - n}{n_c} \qquad (VIII.45)$$

где n — число оборотов ротора; n_c — синхронное число оборотов магнитного поля статора,

$$n_c = \frac{60 f_1}{p} \ [об/мин] \qquad (VIII.46)$$

(p — число пар полюсов);

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} \ [рад/сек]. \qquad (VIII.47)$$

Из уравнения (VIII.44) следует, что при данном скольжении S или, что то же самое, при данной скорости n двигателя момент M пропорционален квадрату напряжения U, приложенного к статору.

По уравнению (VIII.44) может быть рассчитана и построена зависимость $M = f(S)$ или с учетом формулы (VIII.45) — механическая характеристика $n = f(M)$ (рис. VIII.13).

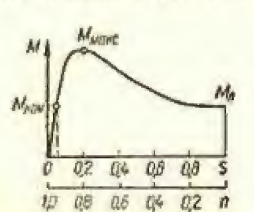


Рис. VIII.13. Зависимость момента АД от величины скольжения (от числа оборотов ротора).

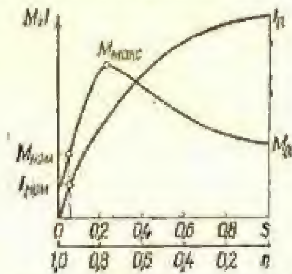
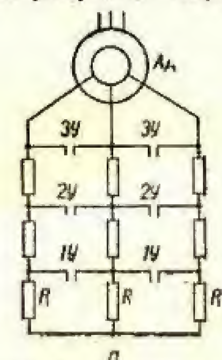


Рис. VIII.14. Зависимость электромагнитного момента и тока статора АД с короткозамкнутым ротором от скорости вращения ротора.

Зависимость электромагнитного момента и тока АД с короткозамкнутым ротором от скорости вращения последнего представлена на рис. VIII.14. У таких двигателей пусковой ток превышает номинальный в 4,5—7 раз; пусковой момент $M_п$ составляет $(1,1 \div 1,6)\ M_{ном}$, а $M_{макс} = (2 \div 3)\ M_{ном}$.



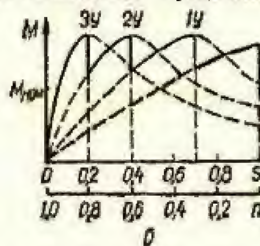


Рис. VIII.15. Схема пуска АД с фазовым ротором (*а*) и пусковая диаграмма (*б*).

Асинхронные двигатели с фазовым ротором при пуске имеют характеристики электромагнитных моментов, соответствующие различным пусковым сопротивлениям (рис. VIII.15).

Определение напряжения на выводах двигателя при пуске

Напряжение на выводах двигателя в начальный момент пуска с достаточной степенью точности может быть определено из выражения

$$U_д = \frac{Z_д}{Z_д + Z_c} 100 \; [\%]. \qquad (VIII.48)$$

где $Z_д$ — полное сопротивление двигателя в начальный момент пуска; Z_c — полное сопротивление сети.

Полное сопротивление двигателя может быть определено из выражения

$$Z_д = \frac{U_{н.д}}{\sqrt{3} I_{н.д} k_п} \; [ом]. \qquad (VIII.49)$$

где $U_{н.д}$ и $I_{н.д}$ — номинальные значения напряжения и тока двигателя, $k_п$ — кратность пускового тока.

Сопротивление сети Z_c до выводов двигателя в общем случае может включать в себя сопротивления системы, линии, трансформатора, реактора.

Сопротивления перечисленных элементов в омах можно определить следующим образом.

Сопротивление системы, если известна мощность короткого замыкания $S_{к.з}$,

$$X_c = \frac{U^2_{к.з}}{S_{к.з}} \; [ом]. \qquad (VIII.50)$$

где $S_{к.з}$ — мощность короткого замыкания (*мва*) системы при напряжении $U_{к.з}$ (*кв*).

Сопротивление линии

$$Z_л = \sqrt{x_0^2 + r_0^2} L \; [ом]. \qquad (VIII.51)$$

где x_0 и r_0 — реактивное и активное сопротивления 1 *км* линии; L — длина линии.

Сопротивление трансформатора

$$X_т = \frac{e_к U_н^2}{100 \, S_т} \; [ом]. \qquad (VIII.52)$$

где $e_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $U_н$ — номинальное напряжение трансформатора, *кв*, $S_т$ — номинальная мощность трансформатора, тыс. *ква*.

Сопротивление реактора

$$X_р = \frac{X'_р}{100} \cdot \frac{U_н}{\sqrt{3} I_н} \; [ом]. \qquad (VIII.53)$$

где $X'_р$ — реактивность реактора, %; $U_н$ и $I_н$ — номинальные напряжение и ток реактора.

Сопротивления всех элементов цепи должны быть приведены к одному напряжению.

Приведение сопротивления одной ступени напряжения к другой ступени напряжения выполняется по выражению

$$X'_1 = X_1 \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2, \qquad (VIII.54)$$

где X_1 — сопротивление ступени с напряжением U_1; X'_1 — то же сопротивление, приведенное к напряжению U_2.

В приведенной выше методике расчета приняты некоторые упрощения, позволяющие, однако, сохранить приемлемую точность: в расчете не учитываются активные сопротивления трансформаторов и реакторов, допускается алгебраическое сложение сопротивлений с различными углами.

Пример. Определить напряжение на выводах двигателя ВДС-325/49-16 в начальный момент пуска.

Мощность двигателя 5000 *квт*, напряжение 10 *кв*, номинальный ток статора 340 *а*, кратность пускового тока — 4,5.

Двигатель питается через гибкую воздушную связь длиной 0,4 *км* от трансформатора ТДТНГЧУ мощностью 20 000 *ква*, напряжением 220/35/10 *кв*. Напряжение короткого замыкания между обмотками высокого и низкого напряжении $e_{кв.н-нн} = 20{,}8\%$. Мощность трехфазного короткого замыкания на стороне 220 *кв* трансформатора равна 605 *мва*.

Сопротивление системы, приведенное к напряжению 10 *кв*,

$$X_c = \frac{U^2_{к.з}}{S_{к.з}} = \frac{10^2}{605} = 0{,}165 \; ом.$$

Сопротивление трансформатора

$$X_т = \frac{e_к U_н^2}{100 S_т} = \frac{20{,}8 \cdot 10^2}{100 \cdot 20} = 1{,}04 \; ом.$$

Сопротивление гибкой связи (без учета активного сопротивления)

$$X_л = X_0 L = 0{,}4 \cdot 0{,}4 = 0{,}16 \; ом.$$

Сопротивление двигателя в начальный момент пуска

$$X_д = \frac{U_н}{\sqrt{3} I_н k_п} = \frac{10 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 340 \cdot 4{,}5} = 3{,}78 \; ом.$$

Суммарное сопротивление цепи

$$X_\Sigma = X_c + X_т + X_л + X_д = 0{,}165 + 1{,}04 + 0{,}16 + 3{,}78 = 5{,}15 \; ом.$$

Напряжение на зажимах двигателя в начальный момент пуска

$$U_д = \frac{X_д}{X_\Sigma} 100 = \frac{3{,}78}{5{,}15} = 73{,}5\%.$$

Глава IX

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Объем испытаний

Общие технические требования к силовым трансфоматорам (и автотрансформаторам) определяются ГОСТом 11677—65, в котором предусмотрены также программы типовых и контрольных испытаний. Методика их регламентируется ГОСТами 3484—65, 6581—53, 1021—62, 1516—60 и 8008—67.

Объем приемо-сдаточных испытаний, обусловленный ПУЭ, таков.

1. Определение условий включения трансформаторов без сушки.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
а) изоляции обмоток вместе с вводами (для обмоток масляных трансформаторов и автотрансформаторов — не обязательно);
б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок (испытание проводится в случае осмотра активной части).
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току. Измерения производится на всех ответвлениях, если это не требует выемки сердечника.
4. Измерение тока холостого хода при номинальном напряжении.
5. Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.
6. Осмотр и проверка устройств охлаждения (в соответствии с заводской инструкцией).
7. Проверка целости заземления ярмовых балок, прессующих колец и магнитопровода (в случае осмотра активной части залитых маслом и сухих трансформаторов).
8. Фазировка трансформатора.
9. Испытание включением толчком на номинальное напряжение. В процессе 3—5-кратного включения трансформатора на номинальное напряжение не должны иметь места явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора. Трансформаторы, смонтированные по схеме блока с генераторами, допускается включать в сеть подъемом напряжения с нуля.
10. Испытание вводов.
11. Испытание встроенных трансформаторов тока.
12. Испытание трансформаторного масла.

Приведенный объем приемо-сдаточных испытаний распространяется на масляные реакторы и дугогасящие катушки.

Трансформаторы мощностью 1000 *ква* и менее испытываются в объеме, предусмотренном п. 1, 3, 8, 9, 12.

Для определения некоторых параметров и решения других вопросов при проведении наладочных работ возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Объемы, нормы и методы испытаний вводов и трансформаторного масла рассматриваются в гл. XIII, встроенных трансформаторов тока — в гл. XI.

Перед началом испытаний необходимо провести внешний осмотр трансформатора, в процессе которого проверить исправность бака и радиаторов, состояние изоляторов, уровень масла, положение радиаторных кранов и крана на маслопроводе к расширителю, целость маслоуказательного стекла, заземление трансформатора.

Определение условий включения трансформаторов без сушки

Условия включения масляных трансформаторов без сушки определяются «Инструкцией по контролю состояния изоляции трансформаторов перед вводом в эксплуатацию» (СН 171—61).

Объем проверки состояния изоляции и условия включения без сушки зависят от мощности, напряжения и условий транспортировки трансформаторов.

I группа. В нее входят трансформаторы мощностью менее 2500 *ква*, напряжением 35 *кв* включительно, транспортируемые с маслом.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Уровень масла — в пределах отметок маслоуказателя.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл. IX.1.

в. Величина R_{60}/R_{15} не ниже 1,3 при температуре 10—30° С.

г. Если условие *а* не соблюдено, но обмотки и трансформатор покрыты маслом, или если не выполнено условие *б*, но в масле нет следов воды и пробивное напряжение масла ниже, чем требуемое не более чем на 5 *кв*, дополнительно определяется отношение C_2/C_{50} или tg δ обмоток в масле; если производится ревизия со сливом масла, то измеряется величина $\Delta C/C$ активной части без масла. Значения C_2/C_{50}, tg δ или $\Delta C/C$ должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. IX.3, IX.4, IX.5.

Таблица IX.1

Минимально допустимые значения пробивного напряжения пробы масла трансформаторов

Класс напряжения обмотки ВН, *кв*	Пробивное напряжение масла на стандартном разряднике, *кв*
До 15 включительно	25
15—35	30
60—220	40
330—500	50 *

* Пробивное напряжение пробы остатков масла допускается не менее 45 *кв*.

Достаточным для включения без сушки является соблюдение одной из следующих комбинаций условий:

для трансформаторов мощностью до 100 *ква*

1) *а*, *б*; 2) *б*, *г*; 3) *а*, *г*.

Для остальных трансформаторов I группы

1) *а*, *б*, *в*; 2) *б*, *в*, *г*; 3) *а*, *в*, *г*.

II группа. В нее входят трансформаторы мощностью менее 10 000 *ква*, напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Кожух трансформатора герметичный.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл IX.1.

в. Величина R_{60}/R_{15} не ниже 1,3 при температуре 10—30° С, а C_2/C_{50} — в соответствии с нормой, приведенной в табл. IX.5.

г. Если одна или обе указанные в п. *в* величины не удовлетворяют нормам, дополнительно измеряется tg δ обмоток в масле. Эта величина должна удовлетворять нормам, приведенным в табл. IX.3, или расхож-

Таблица IX.2

Минимально допустимые значения R_{60} обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	450	300	200	130	90	60	40
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше, 110 *кв* независимо от мощности	900	600	400	260	180	120	80

Примечание. Значения R_{60} относятся ко всем обмоткам данного трансформатора.

дение ее с данными заводского протокола, приведенными к температуре измерений из монтаже, не должно превышать 30% в сторону ухудшения.

д. Если величина tg δ не удовлетворяет нормам, tg δ масла превышает 0,6% и нет данных заводских измерений, следует измерить величину $\Delta C/C$ активной части трансформатора без масла или величину $C_г/C_х$ при контрольном прогреве в масле. Нормы для этих величин приведены в табл. IX.4, IX.6.

Для включения трансформаторов II группы без сушки достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций: 1) *а*, *б*, *в*; 2) *а*, *б*, *г*; 3) *а*, *б*, *д*.

III группа. В эту группу входят трансформаторы мощностью 10 000 *ква* и более, напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Кожух трансформатора герметичный.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл. IX.1.

в. Величины $\Delta C/C$, измеренные в конце ревизии (если таковая проводится), не превышают значений, приведенных в табл. IX.4; кроме того, приращение отношения $\Delta C/C$, измеренного в конце и в начале ревизии и приведенного к одной температуре, не превышает значений, указанных в табл. IX.4.

г. Величины R_{60}, C_2/C_{50} или tg δ, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, удовлетворяют нормам, приведенным в табл. IX.2, IX.3, IX.5 или R_{60} и tg δ не отличаются от заводских

Таблица IX.3

Максимально допустимые значения изоляции tg δ (%) обмоток трансформатора

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 2500 *ква*	1,5	2	2,6	3,4	4,6	6	8
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4,5	6
35 *кв*, мощность 10 000 *ква* и больше и 110 *кв* независимо от мощности	0,8	1	1,3	1,7	2,3	3	4

Примечание. Значения tg δ относятся ко всем обмоткам данного трансформатора.

Таблица IX.4

Наибольшие значения $\Delta C/C$ (%) обмоток трансформаторов без масла

Класс напряжения обмотки высокого напряжения	Температура, °С				
	10	20	30	40	50
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква* ($\Delta C/C$ в конце ревизии)	13	20	30	45	75
То же (разность между значениями $\Delta C/C$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре)	4	6	9	13,5	22
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* и больше независимо от мощности ($\Delta C/C$ в конце ревизии)	8	12	18	29	44
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* и больше независимо от мощности (разность между значениями $\Delta C/C$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре)	3	4	5	8,5	13

данных, приведенных к температуре изоляции при измерении этих характеристик на монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

д. Величины tg δ обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, если не предусмотрен осмотр активной части трансформатора с измерением $\Delta C/C$, должны удовлетворять требованиям условия *г*.

Таблица IX.5

Максимально допустимые значения C_2/C_{50} обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки высокого напряжения	Температура обмотки, °С		
	10	20	30
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	1,1	1,2	1,3
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* независимо от мощности	1,05	1,15	1,25

Таблица IX.6

Максимально допустимые значения $\frac{C_г}{C_х}$ обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки высокого напряжения	$\frac{C_г}{C_х}$
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	1,1
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* и больше независимо от мощности	1,05

е. Если одна из величин, указанных в условиях *г* и *д*, не удовлетворяет нормам, измеряют величины R_{60} и tg δ обмоток в масле при той же температуре изоляции, при которой эти величины измерялись на заводе. Расхождение между полученными при измерении и заводскими данными не должно превышать 30% в сторону ухудшения.

Для включения трансформаторов III группы без сушки достаточно выполнение условий в одной из следующих комбинаций: 1) *а, б, в, г*; 2) *а, в, г, д*; 3) *а, б, в, е*.

IV группа. К этой группе относятся трансформаторы напряжением 110 *кв* и выше, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Кожух трансформатора герметичный.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл. IX.1.

в. Величины $\Delta C/C$, измеренные в конце ревизии (если таковая проводится), не превышают значений, указанных в табл. IX.4; кроме того, приращение отношения $\Delta C/C$, измеренного в конце и в начале ревизии и приведенного к одной температуре, не превышает значений, указанных в табл. IX.4.

г. Величины R_{60} и tg δ обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, удовлетворяют нормам, приведенным в табл. IX.2, IX.3, или R_{60} и tg δ не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре измерения при монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения без сушки трансформаторов IV группы достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций: 1) *а, б, г* (если ревизия активной части не предусмотрена); 2) *а, б, в, г* (если предусмотрен осмотр активной части со сливом масла).

V группа. В нее входят трансформаторы напряжением 110 *кв* и выше, транспортируемые без масла.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы:

а. Кожух трансформатора герметичный.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл. IX.1. Значение tg δ для масла при температуре 20° не более 0,6% (при большей величине tg δ измерение сопротивления изоляции обмотки следует проводить без масла).

в. Индикаторный силикагель — голубого цвета, или индикатор увлажнения согласно заводской инструкции не показывает увлажнения.

г. Величина $\Delta C/C$, измеренная в конце ревизии, не превышает значений, приведенных в табл. IX.4. Кроме того, приращение $\Delta C/C$, измеренных в конце и в начале ревизии и приведенных к одной температуре, не превышают данных табл. IX.4.

д. Величины R_{60} и tg δ для обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки масла, не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре измерения при монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения трансформаторов V группы без сушки достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций: 1) *а, б, в, г, д*; 2) *а, б, в, д* (если ревизия активной части не предусмотрена).

Условия включения без сушки сухих трансформаторов определяются в соответствии с указаниями завода-изготовителя.

Методика измерения характеристик изоляции

Методика и приборы для измерения характеристик изоляции рассмотрены в гл. II и III. Ниже рассмотрим особенности измерений характеристик изоляции применительно к силовым трансформаторам.

Следует помнить, что при определении характеристик изоляции температура ее должна быть не ниже 10° С.

Измерения можно начинать не ранее, чем через 12 *ч* после окончания заливки масла в бак трансформатора. При определении характеристик изоляции все доступные вводы испытуемых обмоток следует соединить между собой, бак трансформатора надежно заземлить, заземляющий провод присоединить к специальному заземляющему болту.

Прежде всего измеряют значения $R_{из}$, C, ΔC проводов, соединяющих приборы с трансформатором. Длина проводов должна быть как можно

меньше, поэтому приборы нужно располагать поближе к трансформатору. Измеренное значение $R_{из}$ проводов должно быть не меньше верхнего предела измерения мегомметра. Если величину ΔC и C проводов можно отсчитать по прибору, вносится поправка вычитанием ΔC и C проводов из результатов измерения полностью собранной схемы с испытуемым трансформатором.

Характеристики изоляции измеряют по следующим схемам:

двухобмоточные трансформаторы

ВН — бак, НН
НН — бак, ВН
ВН + НН — бак

трехобмоточные трансформаторы

ВН — бак, СН, НН
СН — бак, ВН, НН
НН — бак, ВН, СН
ВН + СН — бак, НН
ВН + СН + НН — бак,

где ВН, СН и НН — соответственно обмотки высокого, среднего и низкого напряжения. При измерении все неиспытуемые обмотки и бак трансформатора необходимо заземлить (совместно). Вначале измеряют R_{15} и R_{60}, затем — остальные характеристики трансформатора.

Температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву или подогреву, принимают равной температуре верхних слоев масла, измеренной термометром. Если температура масла ниже +10° С, трансформатор следует нагреть. При этом температуру изоляции принимают равной средней температуре обмотки высокого напряжения, определяемой по сопротивлению обмотки постоянному току. Это сопротивление измеряют не раньше, чем через 60 *мин* после окончания нагрева током или через 30 *мин* после внешнего нагрева.

Сопротивление изоляции измеряют по приведенным выше схемам мегомметром на 2500 *в* с верхним пределом измерения не ниже 10 000 *Мом*.

Емкость и tg δ обмоток измеряют мостом переменного тока по перевернутой схеме (см. гл. III).

Измерение tg δ на трансформаторах, залитых маслом, можно проводить при напряжении, не превышающем 60% заводского испытательного напряжения испытуемой обмотки, но не выше 10 *кв*. При измерениях на трансформаторах, не залитых маслом, если испытуемая обмотка класса напряжения ниже 35 *кв*, испытательное напряжение не должно превышать 3 *кв*.

При сушке трансформатора без масла tg δ разрешается измерять при напряжении не выше 220 *в*.

Отношения C_2/C_{50} и $\Delta C/C$ определяют для каждой из обмоток специальными приборами (гл. II и III); остальные обмотки вместе с баком заземляют.

Перед началом измерения испытуемую обмотку заземляют не меньше, чем на 2 *мин*.

При определении $C_г/C_х$ емкость трансформатора $C_г$ измеряют при температуре не ниже 70° С, а $C_х$ — при температуре на 50° С ниже температуры измерения $C_г$. В обоих случаях емкость измеряют мостом переменного тока. Если нет моста, для трансформаторов напряжением до 35 *кв* и мощностью меньше 10 000 *ква* можно измерять емкости методом вольтметра — амперметра.

Значения tg δ, измеренные на заводе, приводят к температуре измерения на монтаже с помощью коэффициента K_1, значения которого приведены в табл. IX.7 и на рис. IX.1.

Примеры. 1. Пусть согласно заводским данным (измерение по схеме ВН — бак, НН), при температуре 61° С tg δ = 1,1%; температура изоляции трансформатора при измерении на монтаже равняется 20° С, $\Delta t = t_2 - t_1 = 41°$ С. По рис. IX.1 находим $K_1 = 3{,}1$.

Таблица IX.7

Значения коэффициентов K_1 и K_2

$t_2 - t_1$, °С	K_1	K_2	$t_2 - t_1$, °С	K_1	K_2
5	1,15	1,23	40	3,0	5,1
10	1,31	1,5	45	3,5	6,2
15	1,51	1,84	50	4,0	7,5
20	1,75	2,25	55	4,6	9,2
25	2,0	2,75	60	5,3	11,2
30	2,3	3,4	65	6,1	13,9
35	2,65	4,15	70	7,0	17

Величина tg δ, приведенная к 20° С, составляет $\frac{1{,}1}{3{,}1} = 0{,}35\%$. На монтаже tg δ не должен превышать этой величины больше чем в 1,3 раза.

2. Пусть у трансформатора напряжением 35 *кв*, мощностью 1600 *ква* на монтаже при температуре изоляции трансформатора + 15° С tg δ = = 1,6%. Эта величина не должна превышать нормированное значение tg δ. Поскольку в табл. IX. 3 даны нормированные значения tg δ при температурах, кратных десяти, для сравнения необходимо определить нормированное значение tg δ при температуре +15° С. Указанное в табл. IX.3 значение tg δ (например, при 20° С) с помощью коэффициента K_1 приводят к температуре 15° С: для $t_2 - t_1 = 20 - 15 = 5°$ С имеем $K_1 = 1{,}15$. Норма tg δ при + 15°С $\frac{2}{1{,}15} = 1{,}74\%$.

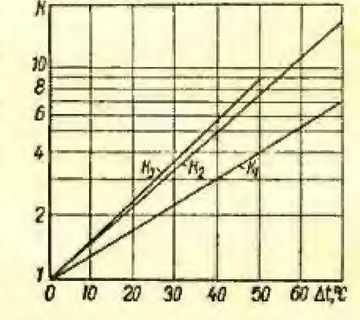


Рис. IX.1. График определения коэффициентов K_1, K_2, K_3 для пересчета величин соответственно tg δ, R_{60} и $\Delta C/C$.

Значения R_{60}, измеренные на заводе, приводят к температуре измерения на монтаже, а нормированные значения R_{60} для температур, не кратных десяти, определяют, выполняя пересчет с помощью коэффициента K_2, значения которого приведены в табл. IX.7 и на рис. IX.1.

Примеры. 1. Данные заводского протокола: при температуре 61° С R_{60} = 450 *Мом* (измерение по схеме ВН — бак, НН), температура изоляции трансформатора при монтаже равняется 21° С, $t_2 - t_1 = 40°$ С. Согласно данным табл. IX.7 (или рис. IX.1), $K_2 = 5{,}1$.

Сопротивление изоляции, приведенное к 21° С, $R_{60} = 450 \cdot 5{,}1 =$ = 2300 *Мом*.

На монтаже сопротивление изоляции должно быть не ниже 70% этого значения, т. е. не ниже 2300 × 0,7 = 1610 *Мом*.

2. Данные измерения на монтаже для трансформатора напряжением 35 *кв*, мощностью 6300 *ква* таковы: $R_{60} = 500$ *Мом* при температуре изоляции трансформатора 13° С. Эта величина должна быть не ниже нормированного значения R_{60}. Поскольку в табл. IX.2 даны нормированные значения при температурах, кратных десяти, для сравнения необходимо определить нормированное значение R_{60} при 13° С. Для этого указанную в табл. IX.2 норму (например, при 20° С) 300 *Мом* с помощью коэффициента K_2 приводят к температуре 13°С.

Таблица IX.8

Значения коэффициента K_3

$t_2 - t_1$, °С	K_2	$t_2 - t_1$, °С	K_2
5	1,25	30	3,7
10	1,55	35	4,6
15	1,95	40	5,7
20	2,4	45	7
25	3	50	8,8

Для $t_2 - t_1 = 20 - 13 = 7°$ С имеем $K_2 = 1,3$. При 13° С $R_{60} = 300 \times 1,3 = 390$ *Мом*.

Приведение $\Delta C/C$, измеренного в конце ревизии при температуре обмотки высокого напряжения t_1, к температуре этой обмотки t_2, измеренной в начале ревизии, выполняется путем умножения на коэффициент температурного пересчета K_3 (табл. IX.8, рис. IX.1).

П р и м е р. Начальное значение $\Delta C/C$ обмотки высокого напряжения трансформатора напряжением 110 *кв* при температуре изоляции обмотки +20° С равно 4% ; в конце ревизии при температуре обмотки 15° С отношение $\Delta C/C = 6\%$ $t_2 = t_1 = 5°$ С, $K_3 = 1,25$.

Величина $\Delta C/C$, приведенная к 20° С, составляет $6 \times 1,25 = 7,5\%$. Разность значений $\Delta C/C$ в конце и в начале ревизии, приведенных к 20°С: $7,5 - 4 = 3,5\%$. Полученная разность, согласно данным табл. IX.4, не должна превышать 4%.

Если условия транспортировки, хранения, монтажа и включения трансформаторов без сушки, указанные в инструкции (СН, 171—61), не соблюдены, трансформатор следует подвергнуть контрольному прогреву или сушке. Если нет оснований предполагать, что изоляция значительно увлажнена, то допускается контрольный прогрев в масле при температуре верхних слоев его 70—80° С. При этом периодически измеряют характеристики изоляции. Прогрев прекращают при соответствии характеристик изоляции требуемым по инструкции нормам, но не ранее, чем через 24 *ч* после достижения температуры 70—80° С.

Испытание электрической прочности главной изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением

Методика и аппаратура для испытания изоляции повышенным напряжением рассмотрены в гл. III, IV.

Величины испытательных напряжений приведены в табл. IX.9. Продолжительность приложения напряжения — 1 *мин*.

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции, отмеченных по звуку разрядов в баке, выделению газов, дыма или по показанию приборов (при пробое напряжение падает, а ток увеличивается).

Таблица IX.9

Напряжение промышленной частоты (*кв*) для испытания обмоток силовых трансформаторов

Объект испытания	Номинальное напряжение испытуемой обмотки, *кв*									
	Ниже 3	3	6	10	15	20	35	110	150	220
Силовые трансформаторы, дугогасящие катушки и другие объекты с нормальной изоляцией и вводами, рассчитанными на номинальное напряжение	4,5	16	22	31	40	49	76	180	247	360
Силовые трансформаторы с облегченной изоляцией (в том числе сухие трансформаторы)	2,7	9	14	21	33	—	—	—	—	—

Испытание изоляции стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок

Сопротивление изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок измеряется мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*. Перед измерением сопротивления изоляции ярмовых балок отсоединяются проводники, соединяющие магнитопровод с другими заземленными элементами трансформатора. Величина сопротивления изоляции не нормируется, однако оно не должно быть ниже нескольких мегомов. Наиболее распространенной причиной низкой изоляции являются заусеницы и грязь под стальными шайбами.

При удовлетворительных результатах измерения изоляция стяжных шпилек и ярмовых балок испытывается напряжением 1000 *в* промышленной частоты. Продолжительность испытания — 1 *мин*.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Методика измерения приведена в гл. II.

Измерения выполняются при установившейся температуре.

В качестве температуры обмотки при измерении для масляных трансформаторов (собранных), не подвергавшихся нагреву, может быть принята установившаяся температура верхних слоев масла, для сухих трансформаторов и сердечников масляных трансформаторов, вынутых из масла,— температура окружающего воздуха, если трансформатор находился в данных условиях в течение времени, достаточного для выравнивания температур (обычно от 3 до 19 *ч* в зависимости от мощности трансформатора).

Ввиду большой индуктивности обмоток время установления тока при измерении значительно и измеряется иногда десятками минут. Для

сокращения этого времени в цепь тока последовательно включают активное сопротивление (реостат), уменьшая тем самым постоянную времени цепи. Если измерение проводится методом амперметра-вольтметра, то время нарастания тока может быть сокращено подачей на обмотку в течение первых двух-трех секунд несколько большего напряжения (шунтированием реостата), чем при измерениях.

Измеренные сопротивления обмоток различных фаз на одноименных ответвлениях не должны отличаться от средней величины сопротивления или от заводских данных более чем на 2%. Кроме того, должна соблюдаться одинаковая для всех фаз и соответствующая положениям переключателя закономерность изменения сопротивления постоянному току в различных положениях переключателя. Особое внимание следует обращать на закономерность изменения сопротивления по отпайкам у трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, где встречаются нарушения закономерности из-за неправильного сочленения валов переключателя и привода, неправильной работы привода, а также ошибочного подсоединения отпаек обмоток к переключающему устройству.

Опыт холостого хода трансформатора при номинальном напряжении

Опыт холостого хода проводят для измерения тока и потерь холостого хода. Кроме того, по результатам измерений может быть определен ряд характеристик трансформатора.

При опыте холостого хода к одной из обмоток трансформатора (обычно низкого напряжения) при разомкнутых остальных обмотках подводят номинальное напряжение номинальной частоты практически синусоидальной формы и симметричное при испытании трехфазных трансформаторов (рис. IX.2).

При испытании трехфазных трансформаторов величина подведенного напряжения определяется из выражения

$$U_{\text{подв}} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3}. \quad \text{(IX.1)}$$

Согласно ГОСТу 3484-65, можно принимать в качестве $U_{\text{подв}}$ величину напряжения, подводимого к крайним фазам A и C.

Ток холостого хода определяется в процентах номинального:
для однофазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_{\text{изм}}}{I_{\text{ном}}} 100\ [\%]; \quad \text{(IX.2)}$$

для трехфазных трансформаторов при номинальном напряжении

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3I_{\text{ном}}} 100\ [\%]. \quad \text{(IX.3)}$$

В трехфазных трансформаторах токи холостого хода различных фаз за счет различной длины пути потока каждой фазы несколько отличаются по своей величине. Величина тока средней фазы обычно на 20—35% меньше тока средних фаз.

Потери трехфазного трансформатора

$$P_0 = C_\omega\ (a_1 \pm a_2), \quad \text{(IX.4)}$$

где C_ω — постоянная ваттметра; a_1 и a_2 — показания ваттметров.

Потери холостого хода:
в однофазном трансформаторе

$$P = P_{\text{ст}} + I_0^2 R_{\Phi}; \quad \text{(IX.5)}$$

в трехфазном трансформаторе

$$P_0 = P_{\text{ст}} + 3I_0^2 R_{\Phi}. \quad \text{(IX.6)}$$

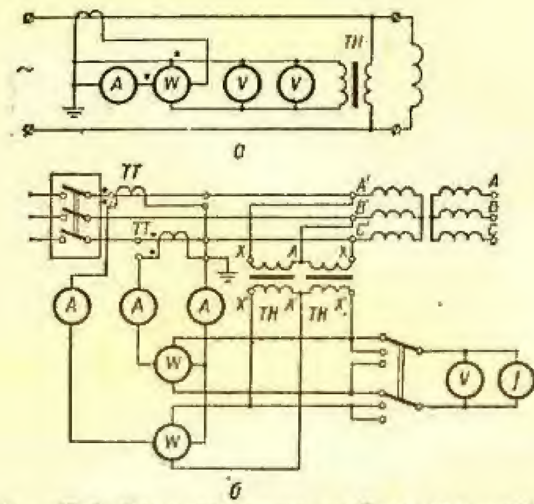


Рис. IX.2. Схемы включения приборов при проведении опыта холостого хода трансформаторов:
а — для однофазных трансформаторов; *б* — для трехфазных трансформаторов.

Здесь R_{Φ} — фазовое сопротивление обмотки постоянному току; $P_{\text{ст}}$ — потери в стали; $I_0^2 R_{\Phi}$ и $3\,I_0^2\,R_{\Phi}$ — потери в меди. Так как при холостом ходе потери в меди очень малы, можно принять

$$P_0 \simeq P_{\text{ст}}. \quad \text{(IX.7)}$$

Если испытание проводится при частоте f', отличной от номинальной $f_{\text{ном}}$ (но не более чем на $\pm$ 3%), то подводимое для испытания напряжение

$$U_{\text{подв}} = U_{\text{ном}} \frac{f'}{f_{\text{ном}}}. \quad \text{(IX.8)}$$

Потери холостого хода P_0, приведенные к номинальной частоте,

$$P_0 = \frac{P_0'}{P_2\left(\frac{f'}{50}\right)^2 + P_1\left(\frac{f'}{50}\right)^2}, \quad \text{(IX.9)}$$

где P_0' — потери, измеренные при частоте f'; P_1 — доля потерь, обусловленных гистерезисом,— принимается 0,5 для холоднокатаной

текстурованной электротехнической стали, и 0,8 — для горячекатаной стали; $P_в$ — доля потерь, обусловленная вихревыми токами, — принимается равной 0,5 и 0,2 соответственно.

По данным измерений опыта холостого хода трансформатора, кроме I_0 и P_0 рассчитываются следующие величины:

коэффициент мощности трехфазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}UI_0}, \quad (IX.10)$$

коэффициент мощности однофазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{UI_0}, \quad (IX.11)$$

полное фазовое сопротивление обмотки

$$Z_{0ф} = \frac{U_ф}{I_{0ф}} \text{ [ом]}, \quad (IX.12)$$

активная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$R_{0ф} = Z_{0ф}\cos\varphi_0 \text{ [ом]}, \quad (IX.13)$$

реактивная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$X_{0ф} = \sqrt{Z_{0ф}^2 - R_{0ф}^2} = Z_{0ф}\sin\varphi_0 \text{ [ом]}, \quad (IX.14)$$

активная и реактивная составляющие тока холостого хода

$$I_{0а} = I_0\cos\varphi_0, \quad (IX.15)$$

$$I_{0р} = I_0\sin\varphi_0. \quad (IX.16)$$

Обычно $\frac{I_{0а}}{I_{0р}} \leqslant 0,1$.

Примеры схем включения приборов при проведении опыта холостого хода приведены на рис. IX.2. Величины тока и потерь холостого хода не нормируются.

Измерение потерь холостого хода при малом напряжении

При малом напряжении измерения проводят на заводе-изготовителе, что позволяет сравнить результаты измерения при эксплуатационных испытаниях с заводскими данными. Измерения проводятся при напряжении, составляющем 5—10% номинального (рис. IX.3 и IX.4).

Сначала измеряют подводимое напряжение U' и суммарную мощность $P_{изм}$, потребляемую испытуемым трансформатором и измерительными приборами. Затем определяют мощность $P_{пр}$, потребляемую приборами.

Потери в трансформаторе при напряжении U'

$$P_0' = P_{изм} - P_{пр}. \quad (IX.17)$$

Измеряют потери в трехфазных трансформаторах при трехфазном возбуждении. Величину потерь определяют по выражению IX.17.

В трансформаторах трехстержневого исполнения потери можно измерять при однофазном возбуждении. При этом выполняют три опыта с приведением трехфазного трансформатора к однофазному путем поочередного замыкания накоротко одной из его фаз и возбуждения двух других (рис. IX.5).

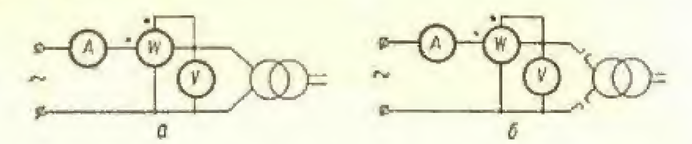


Рис. IX.3. Схемы измерения суммарных потерь холостого хода:

а — в однофазном трансформаторе; *б* — в приборах.

Первый опыт — замыкают накоротко обмотку фазы *A*, возбуждают фазы *B* и *C* трансформатора и измеряют потери. Второй опыт — замыкают накоротко обмотку фазы *B*, возбуждают фазы *A* и *C* трансформатора и измеряют потери. Третий опыт — замыкают накоротко обмотку фазы *C*, возбуждают фазы *A* и *B* трансформатора и измеряют потери.

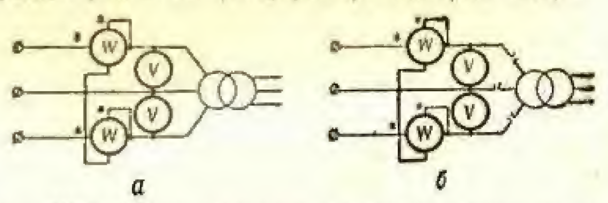


Рис. IX.4. Схемы измерения суммарных потерь холостого хода:

а — в трехфазном трансформаторе; *б* — в приборах.

Обмотки фаз замыкают накоротко на соответствующих выводах обмоток трансформатора (высшего, среднего или низшего напряжения). При этом руководствуются действительной схемой соединения обмоток трансформатора.

Потери в трансформаторе при напряжении U'

$$P_0' = \frac{P_{0AB}' + P_{0BC}' + P_{0AC}'}{2}, \quad (IX.18)$$

(где P_{0AB}', P_{0BC}', P_{0AC}' — потери, определенные при указанных выше опытах (за вычетом потерь в приборах) при одинаковых подводимых напряжениях.

Обычно для исправных трансформаторов справедливы следующие приближенные соотношения между значениями измеренных потерь: потери, измеренные при закорачивании обмотки каждой крайней фазы (*A* или *C*), практически одинаковы, а потери, измеренные при закорачивании обмотки средней фазы (*B*), на 30—40% больше.

Потери трансформатора на холостом ходу $P_{0прив}$, соответствующие $U_{ном}$, определяют путем приведения потерь, измеренных при некотором

малом напряжении U' по формуле

$$P_{0прив} = P_0'\left(\frac{U_{ном}}{U'}\right)^n, \qquad (IX.19)$$

где n — показатель степени, зависящий от сорта трансформаторной стали. Обычно n имеет следующие приближенные значения (при возбуждении трансформатора напряжением 5—10% $U_{ном}$): для горячекатаной трансформаторной стали 1,8, для холоднокатаной текстурованной стали 1,9.

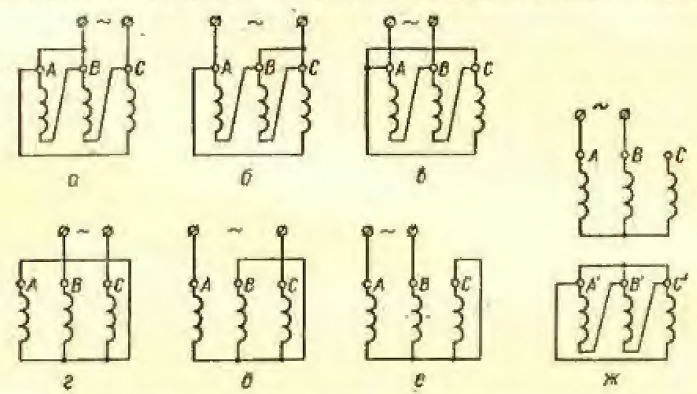


Рис. IX.5. Схемы однофазного питания трехфазного трансформатора:

а, б, в — при соединении первичной обмотки в треугольник; г, д, е — при соединении первичной обмотки в звезду с выведенным нулем; ж — при соединении первичной обмотки в звезду и отсутствии выведенной нулевой точки.

Значение n может быть определено также из выражения

$$n = \frac{\lg \dfrac{P_0}{P_0'}}{\lg \dfrac{U_{ном}}{U'}}, \qquad (IX.20)$$

где P_0 — потери холостого хода, соответствующие номинальным условиям (по данным заводских испытаний); P_0' — потери холостого хода, измеренные при пониженном напряжении U' (при заведомо исправном состоянии трансформатора).

Опыт короткого замыкания трансформатора

При опыте короткого замыкания определяются напряжение и потери короткого замыкания.

Опыт короткого замыкания проводится следующим образом: одна из обмоток замыкается накоротко, а к другой подводится напряжение номинальной частоты, при котором в обмотках трансформатора ток номинальный. Для трехобмоточных трансформаторов опыт проводят с каждой парой обмоток, а не участвующую в опыте обмотку оставляют разомкнутой. Для замыкания обмотки накоротко должны быть использованы короткие проводники, рассчитанные на номинальный ток закорачиваемой обмотки.

Для измерения тока, потерь и напряжения короткого замыкания применяют те же схемы, что и при опыте холостого хода (рис. IX.2). Напряжение и ток трехфазных трансформаторов определяют как средние арифметические величины показаний приборов всех фаз.

Напряжение и потери короткого замыкания можно определить и при меньших значениях, но не менее 25% номинального тока трансформатора. Существуют формулы для определения соответствующих номинальному току потерь короткого замыкания

$$P_к = P_к'\left(\frac{I_{ном}}{I_к'}\right)^2 \qquad (IX.21)$$

и напряжения короткого замыкания

$$U_к = \frac{U_к' I_{ном}}{U_{ном} I_к'} 100\ [\%]. \qquad (IX.22)$$

Здесь $P_к'$, $U_к'$ — потери и напряжение короткого замыкания, соответствующие току $I_к'$, при котором проводился опыт; $U_{ном}$ и $I_{ном}$ — номинальные значения напряжения и тока обмотки трансформатора, к которой подводилось напряжение при опыте.

Для трехфазных трансформаторов опыт короткого замыкания можно выполнять пофазно с замыканием накоротко всех трех фаз и питанием попарно двух. Потери и напряжение короткого замыкания, измеренные в однофазной схеме, пересчитывают на трехфазный режим по формулам

$$P_к = \frac{P_{кAB} + P_{кBC} + P_{кAC}}{2}, \qquad (IX.23)$$

$$U_к = \frac{\sqrt{3}}{6}(U_{кAB} + U_{кBC} + U_{кAC}). \qquad (IX.24)$$

Здесь $P_{кAB}$, $P_{кBC}$, $P_{кAC}$, $U_{кAB}$, $U_{кBC}$, $U_{кAC}$ — потери и напряжения короткого замыкания, измеренные в однофазных схемах. Потери, измеренные при опыте короткого замыкания и приведенные к номинальному току, приводят к расчетной температуре $\nu_{ном}$ (для изоляционных материалов классов A, B, E — 75° C; F, H, C — 115° C). Для этого из измеренных и приведенных к номинальному току потерь короткого замыкания $P_к$ вычитают сумму потерь в обмотках $\Sigma I_к^2 R$, которую вычисляют по измеренному сопротивлению обмоток постоянному току и приведенному к температуре обмотки при опыте короткого замыкания.

Разность потерь $P_{доб} = P_к = \Sigma I_к^2 R$ принимают за величину добавочных потерь при температуре ν.

Затем к расчетной температуре $\nu_{ном}$ приводим потери в обмотках $I_к^2 R$

$$I_к^2 R_{ном} = I_к^2 R k, \qquad (IX.25)$$

и добавочные потери

$$P_{доб\nu_{ном}} = P_{доб}\frac{1}{k_1}, \qquad (IX.26)$$

где

$$k_1 = \frac{\nu_{ном} + 235}{\nu + 235}. \qquad (IX.27)$$

Потери короткого замыкания, приведенные к расчетной температуре $\nu_{ном}$, определяют из выражения

$$P_{к\nu_{ном}} = \Sigma I_к^2 R_{\nu_{ном}} + P_{доб\nu_{ном}}. \qquad (IX.28)$$

Напряжение короткого замыкания в процентах, приведенное к расчетной температуре $\nu_{ном}$, определяют из выражения

$$U_{к\nu_{ном}} = \sqrt{(U_{а\nu}k_1)^2 + U_{р\nu}^2}, \qquad (IX.29)$$

где $U_{а\nu}$ и $U_{р\nu}$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания при температуре ν в процентах, определяемые по формулам

$$U_{а\nu} = \frac{P_к}{10P_{ном}}, \qquad (XI.30)$$

$$U_{р\nu} = \sqrt{U_{к\nu}^2 - U_{а\nu}^2}, \qquad (IX.31)$$

где $U_{к\nu}$ — измеренная при температуре ν величина напряжения короткого замыкания в процентах, приведенная к номинальному току трансформатора; $P_к$ — измеренные при температуре ν потери короткого замыкания, приведенные к номинальному току; $P_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора в *ква*.

Напряжение короткого замыкания в процентах, измеренное при частоте f', отличной от номинальной, но не более чем на $\pm$ 3%, может быть приведено к номинальной частоте

$$U_{кf_{ном}} = \sqrt{\left(U'_р\frac{f_{ном}}{f'}\right)^2 + U'^2_а}, \qquad (IX.32)$$

где $U'_а$ и $U'_р$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания в процентах при частоте f'.

Пересчет потерь короткого замыкания по частоте не производят.

Данные опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора используются для определения:

полного сопротивления трансформатора

$$Z_к = \frac{U_к}{\sqrt{3}I_{ном}}; \qquad (IX.33)$$

активного сопротивления трансформатора

$$R_к = \frac{P_к}{3I^2_{ном}}; \qquad (IX.34)$$

реактивного сопротивления трансформатора

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}; \qquad (IX.35)$$

коэффициента мощности при коротком замыкании

$$\cos\varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3}U_к I_{ном}}. \qquad (IX.36)$$

Определение коэффициента трансформации

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям.

Из предусмотренных ГОСТом 3484-65 методов определения коэффициента трансформации в практике наладочных работ используется метод двух вольтметров.

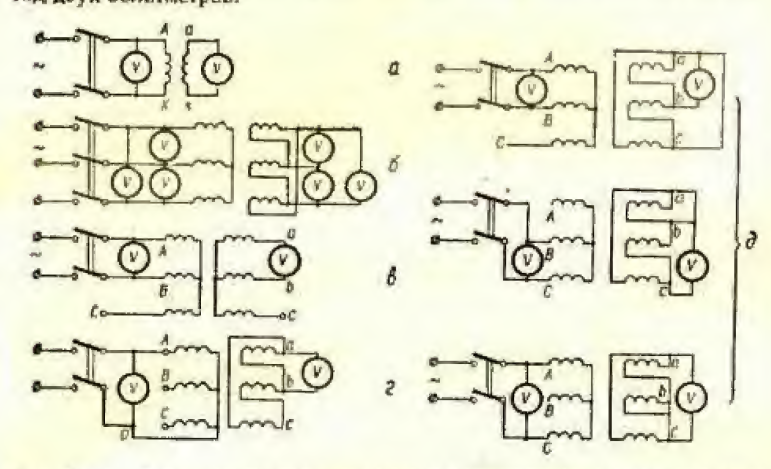


Рис. IX.6. Схемы измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов:

а — однофазных; *б* — трехфазных по трехфазной схеме возбуждения; *в* — трехфазных с соединением обмоток «звезда — звезда» по однофазной схеме возбуждения; *г* — трехфазных с соединением обмоток «звезда с нулевым выводом — треугольник» по однофазной схеме возбуждения; *д* — трехфазных с соединением обмоток «звезда — треугольник» по однофазной схеме возбуждения.

По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в то же время должно составлять не менее 1% номинального напряжения. Для трехфазных трансформаторов измерения можно проводить при трехфазном и однофазном возбуждении. При испытании трехфазных трансформаторов измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток. Если возможно измерить фазные напряжения, то коэффициент

трансформации можно определять по фазным напряжениям одноименных фаз. При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток «звезда — треугольник» коэффициент трансформации измеряют с поочередным закорачиванием одной из фаз, соединенных в треугольник. Измерения проводятся на свободной паре фаз. Коэффициент трансформации определяется по формулам

$$k_{1ф} = \frac{U_{AB}}{2U_{ab}}; \quad k_{2ф} = \frac{U_{BC}}{2U_{bc}}; \quad k_{3ф} = \frac{U_{AC}}{2U_{ac}}, \qquad (IX.37)$$

где $k_{1ф}$, $k_{2ф}$, $k_{3ф}$ — фазные коэффициенты трансформации; U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}, U_{ab}, U_{bc}, U_{ac} — измеренные напряжения на обеих обмотках трансформатора.

Переход к линейному коэффициенту трансформации осуществляется по формуле

$$k_л = \sqrt{3} k_ф \qquad (IX.38)$$

При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток «звезда с нулевым выводом — треугольник» напряжение подводится поочередно к каждой фазе, при этом не нужно закорачивать фазы. В этом случае коэффициент трансформации определяется фазный:

$$k_{1ф} = \frac{U_{AO}}{U_{ab}}; \quad k_{2ф} = \frac{U_{BO}}{U_{bc}}; \quad k_{3ф} = \frac{U_{CO}}{U_{ac}}. \qquad (IX.39)$$

Схемы измерения коэффициентов трансформации однофазных трансформаторов и трехфазных трансформаторов с различными схемами соединения обмоток приведены на рис. IX.6.

Коэффициент трансформации находят на всех ответвлениях обмоток и для всех фаз. При испытаниях трехобмоточных трансформаторов достаточно определить коэффициент трансформации для двух пар обмоток.

Проверка группы соединений обмоток

Согласно ГОСТу 11677-65, трансформаторы и автотрансформаторы должны выполняться со следующими схемами и группами соединения обмоток:

1) звезда — звезда с нулевым выводом — 0,
2) звезда с нулевым выводом — треугольник — 11,
3) звезда — треугольник — 11,
4) звезда — зигзаг с нулевым выводом — 11,
5) треугольник — звезда с нулевым выводом — 11,
6) звезда с нулевым выводом — звезда с нулевым выводом — треугольник — 0,11,
7) звезда с нулевым выводом — треугольник — треугольник — 11, 11.

Группу трансформаторов можно изменять без каких-либо переключений в схеме соединения самих обмоток, только за счет переключения фаз подводимых к трансформатору напряжений.

Группа соединений обмоток может быть проверена прямым методом (фазометром), методом двух вольтметров и методом постоянного тока.

Прямой метод (фазометром)

Последовательную обмотку однофазного фазометра через реостат подключают к зажимам одной из обмоток, а параллельную обмотку — к одноименным зажимам другой обмотки испытуемого трансформатора. К одной из обмоток трансформатора подводят напряжение, величина которого должна быть достаточна для нормальной работы фазометра (рис. IX.7). По измеренному углу определяют группу соединения обмоток. При определении группы соединений трехфазных трансформаторов проводят не менее двух измерений (для двух пар соответствующих линейных зажимов трансформатора).

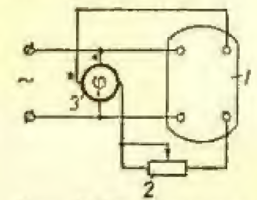


Рис. IX.7. Схема проверки группы соединения обмоток силового трансформатора методом фазометра:

1 — испытуемый трансформатор; 2 — реостат; 3 — фазометр.

Метод двух вольтметров

При проверке группы соединений этим методом соединяют зажимы A и a (рис. IX.8) испытуемого трансформатора, подводят к одной из обмоток напряжение и измеряют последовательно напряжения между зажимами $X - x$ — при испытании однофазных трансформаторов и между зажимами $b - B$, $b - C$ и $c - B$ — при испытании трехфазных трансформаторов. Измеренные напряжения сравнивают с вычисленными по формулам табл. IX.10.

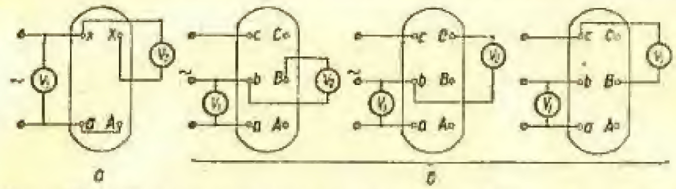


Рис. IX.8. Схемы проверки группы соединения обмоток силовых трансформаторов методом двух вольтметров:

а — для однофазного трансформатора; б — для трехфазного трансформатора.

В формулах обозначено: U_2 — линейное напряжение на зажимах обмотки низшего напряжения; $k_л$ — линейный коэффициент трансформации.

Метод постоянного тока

Этот метод используют для однофазных трансформаторов, а также для трехфазных — при выведенной нулевой точке обмоток и при соединении обмоток «треугольник — треугольник». Группу соединений определяют по схеме в соответствии с рис. IX.9 путем поочередной проверки полярности зажимов $A - X$ и $a - x$ магнитоэлектрическим вольтметром при подведении к зажимам $A - X$ напряжения постоянного тока 2—12 *в*. Полярность зажимов $A - X$ устанавливают при включении тока. После проверки полярности зажимов $A - X$ вольтметр отсоединяют, не отсоединяя питающие провода, и присоединяют его к зажимам

Таблица IX.10

Векторные диаграммы и расчетные формулы для определения группы соединений силовых трансформаторов

Группа соединений	Угловое смещение э. д. с., град	Возможное соединение обмоток и векторная диаграмма линейных э. д. с.	U_{b-B} (U_{x-X})	U_{b-C}	U_{c-B}
0	0	YY; ΔΔ; Δϟ	$U_2 (K_л - 1)$	$U_2 \sqrt{1 - K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - K_л + K_л^2}$
1	30	YΔ; ΔY; Δϟ	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3}K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3}K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + K_л^2}$
2	60	YY; ΔΔ; Δϟ	$U_2 \sqrt{1 - K_л + K_л^2}$	$U_2 (K_л - 1)$	$U_2 \sqrt{1 + K_л + K_л^2}$
3	90	YΔ; ΔY; Δϟ	$U_2 \sqrt{1 + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3}K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + \sqrt{3}K_л + K_л^2}$
4	120	YY; ΔΔ; Δϟ	$U_2 \sqrt{1 + K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - K_л + K_л^2}$	$U_2 (1 + K_л)$
5	150	YΔ; ΔY; Yϟ	$U_2 \sqrt{1 + \sqrt{3}K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + \sqrt{3}K_л + K_л^2}$
6	180	YY; ΔΔ; Δϟ	$U_2 (1 + K_л)$	$U_2 \sqrt{1 + K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + K_л + K_л^2}$
7	210	YΔ; ΔY; Yϟ	$U_2 \sqrt{1 + \sqrt{3}K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + \sqrt{3}K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{K_л^2 + 1}$

Группа соединений	Угловое смещение э. д. с., град	Возможное соединение обмоток и векторная диаграмма линейных э. д. с.	$U_b - B$ ($U_x - X$)	$U_b - C$	$U_c - B$
8	210	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Y	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$	$U_2(1+K_л)$	$U_2\sqrt{1-K_л+K_л^2}$
9	270	Y/Δ; Δ/Y; Y/Y	$U_2\sqrt{1+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$
10	300	Y/Y; Δ/Δ; Δ/Y	$U_2\sqrt{1-K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$	$U_2(K_л-1)$
11	330	Y/Δ; Δ/Y; Y/Y	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$

$a - x$. Полярность зажимов $a - x$ определяют в момент включения и отключения тока. Если полярность зажимов $a - x$ при включении тока совпадает с полярностью зажимов $A - X$, а при отключении — противоположна, то трансформатор имеет группу соединений 0, в противном случае — группу соединений 6. Аналогично проверяется группа соединений трехфазных трансформаторов при выведенной нулевой точке обмоток и при соединении обмоток «треугольник — треугольник».

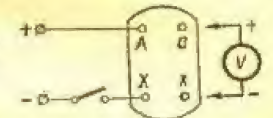


Рис. IX.9. Схема проверки группы соединения однофазного трансформатора методом постоянного тока.

Проверка последовательности действия контактов переключающего устройства

Методы испытаний переключающих устройств силовых трансформаторов определены ГОСТом 8008-67.

Проверка последовательности действия контактов переключающего устройства осуществляется путем снятия диаграмм работы контактов, называемых также круговыми диаграммами переключающего устройства.

В ГОСТе 8008-67 предусмотрена проверка последовательности действия контактов методом осциллографа и методом сигнальных ламп.

Снятие круговых диаграмм методом сигнальных ламп

На валу, соединяющем переключающее устройство с приводным механизмом, укрепляют указательную стрелку, а на неподвижной части переключающего устройства — шкалу для отсчета углов, с ценой деления 1° (можно также укрепить шкалу на валу, а указательную стрелку на неподвижной части переключающего устройства). При исходном положении переключающего устройства указательная стрелка показывает на нуль. Направление вращения приводного механизма при его установке в исходное положение должно совпадать с направлением вращения при последующем снятии диаграммы; этим исключается влияние люфтов переключающего устройства. Электрическую схему для испытания собирают таким образом, чтобы моменты замыкания и размыкания контактов переключателя и контактора фиксировались загоранием и погасанием сигнальных ламп.

Существует много разновидностей схем включения сигнальных ламп, однако не все они удобны и дают достаточно надежные результаты. Согласно ГОСТу 8008-67, сигнальные лампы рекомендуется включать параллельно контактам контактора, а если нет отдельного контактора, то последовательно с подвижными контактами устройства.

На рис. IX.10 приведены рекомендуемые схемы снятия круговых диаграмм переключающего устройства с контакторами и переключателями при выведенной средней точке реактора (рис. IX.10, *а*) и переключающего устройства с реверсором с мостиковым включением дугогасительных контактов (рис. IX.10, *б*). Вместо сигнальных ламп можно исполь-

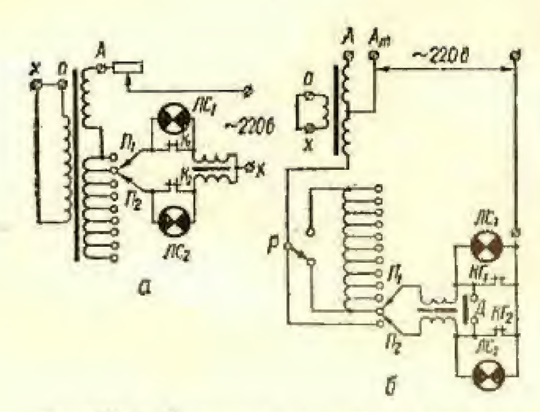


Рис. IX.10. Схемы снятия круговых диаграмм реакторного переключающего устройства:

а — с контакторами и переключателями при выведенной средней точке реактора; *б* — с реверсором с мостиковым включением дугогасительных контактов; $П_1$ и $П_2$ — контакты переключателя; K_1, K_2 — контакты контактора; *Д* — дугогасительные контакты; *КГ* — главные контакты.

Таблица IX.11

Результаты измерений углов

Операция	$ЛС_1$	$ЛС_2$	Углы поворота вала, *град*					
			ход от .... к			ход от ... к		
			a	*в*	*c*	*a*	*в*	*c*
K_1 открывается	Загорается	Не горит						
$П_1$ открывается	Гаснет	» »						
$П_1$ закрывается	Загорается	» »						
K_1 закрывается	Гаснет	» »						
K_2 открывается	Не горит	Загорается						
$П_2$ открывается	» »	Гаснет						
$П_2$ закрывается	» »	Загорается						
K_2 закрывается	» »	Гаснет						

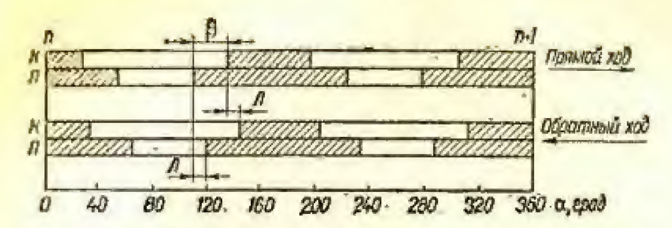


Рис. IX.11. Участок круговой диаграммы переключающего устройства с контакторами:

n — одно из рабочих положений; *n* + 1 — положение следующей ступени; β — угол перекрытия контактов, *К* — контактор, *П* — переключатель.

зовать амперметры. Реостаты устанавливаются в положение, в котором при разомкнутом контакторе лампы горят с заметным накалом (или заметно отклоняются стрелки амперметров).

При медленном вращении рукоятки приводного механизма в направлении следующего положения отмечают моменты замыкания и размыкания контактов переключателей и контакторов, определяемые по свечению и погасанию сигнальных ламп. При достижении следующего положения рукоятку прокручивают несколько дальше, после чего снимают диаграмму при переключении в обратную сторону. Результаты измерений углов заносят в табл. IX.11. По данным измерений строят развернутую круговую диаграмму. На рис. IX.11 в качестве примера приведен участок круговой диаграммы для переключающего устройства с контакторами. Последовательность действия элементов переключающего устройства, изображенного на рис. IX.10, *б* (РНТ—20), и состояния сигнальных ламп приведена в табл. IX.12.

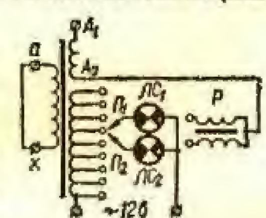


Рис. IX.12. Схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства без отдельного контактора.

Круговая диаграмма реакторного переключающего устройства, не имеющего отдельного контактора, снимается по схеме, приведенной



Рис. IX.13. Круговая диаграмма переключающего устройства без контактора.

на рис. IX.12. На диаграмме (рис. IX.13) отмечены области замкнутого и разомкнутого состояния контактов переключателей *П1* и *П2*, отмечены нормальные положения *1—9* переключающего устройства.

Таблица IX.12

Последовательность действия элементов переключающего устройства типа РНТ-20 и состояния сигнальных ламп

Положение переключающего устройства	Контакторы			Переключатели		Реверс		Лампы	
	$КГ_1$	$КГ_2$	$Д$	$П_1$	$П_2$	I—II	I—III	$ЛС_1$	$ЛС_2$
11 Рабочее	Включен	Включен	Включен	Включен на 11	Включен на 11	Отключен	Включен	Не горит	Не горит
I Промежуточное	»	Отключен	»	То же 11	То же	»	»	» »	» »
II »	»	»	Отключен	» 11	Включен на 11*	»	»	» »	Загорается
III »	»	»	»	» 11	Отключен	»	»	» »	Гаснет
IV »	»	»	»	» 11	Включен на 12	»	»	» »	Загорается
V »	»	»	Включен	» 11	Включен на 12**	»	»	» »	Гаснет
VI »	»	Включен	»	» 11	Включен на 12	»	»	» »	Не горит
VII »	Отключен	»	»	» 11	То же	»	»	» «	» »
VIII »	»	»	Отключен	» 11	Включен на 12***	»	»	Загорается	» »
IX »	»	»	»	Отключен	Включен на 12	»	Отключен	Гаснет	» »
X »	»	»	»	Включен на 12	То же	Включен	»	Загорается	» »
XI »	»	»	Включен	То же	» »	»	»	Гаснет	» »
12 Рабочее	»	»	»	» »	» »	»	»	Не горит	» »

* Переключатель $П_2$ обесточен.
** Секция регулировочной обмотки замкнута на реактор.
*** Переключатель $П_1$ обесточен.

Для быстродействующих переключающих устройств с активными токоограничивающими сопротивлениями методом сигнальных ламп (рис. IX.14) можно снять только диаграмму совместной работы переключателя и контактора без детальной проверки самого контактора.

Круговые диаграммы снимают при повороте ведущего вала от одного до другого заранее выбранного положения в обе стороны. Для переключающих устройств без отдельных контакторов круговую диаграмму снимают для полного цикла переключения между крайними рабочими положениями. Для переключающих устройств с активными токоограничивающими сопротивлениями, имеющих отдельный контактор, круговая диаграмма снимается при переключении не менее чем на два положения подряд.

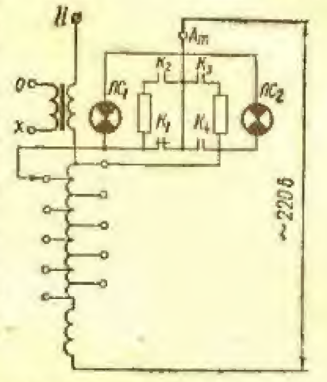


Рис. IX.14. Схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства с активными сопротивлениями.

Снятие круговых диаграмм методом осциллографа

Этим методом строят диаграммы на основании осциллограммы, полученной на магнитоэлектрическом осциллографе. Вибраторы осциллографа включают по тем же принципиальным схемам, что и сигнальные лампы. Осциллограммы рекомендуется снимать при питании цепи вибраторов осциллографа постоянным током при напряжении 6—24 *в*, скорость съемки 100 *мм/сек*.

Для быстродействующих переключающих устройств диаграмму работы контактора и диаграмму совместной работы переключателя и контактора снимают обычно раздельно при разных скоростях развертки осциллографа.

Для отсчета углов поворота вала переключающего устройства применяют коммутатор (типа коллектора), через который включают дополнительный вибратор осциллографа (рис. IX.15).

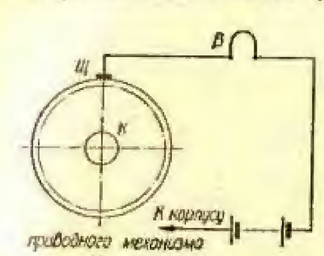


Рис. IX.15. Схема включения вибратора для отсчета углов поворота вала переключающего устройства:

К — коммутатор; *Щ* — щеточный контакт; *В* — вибратор.

Коммутатор устанавливают на приводном валу переключающего устройства. Вместо коммутатора можно использовать шестерню, установленную на валу переключающего устройства или шестерню другого вала, связанного с первым зубчатой передачей. При вращении вала зубцы шестерни замыкают щеточный контакт, подавая импульсы тока через дополнительный вибратор.

Угол, соответствующий расстоянию между двумя соседними отметками углов (рис. IX.16), определяют по формуле

$$\alpha = \frac{360}{z} \cdot \frac{n_ш}{n_в}, \qquad (IX.40)$$

где z — число пластин коммутатора (или зубцов шестерни); $n_ш$ — число оборотов шестерни в 1 *мин*; $n_в$ — число оборотов вала переключателя в 1 *мин*.

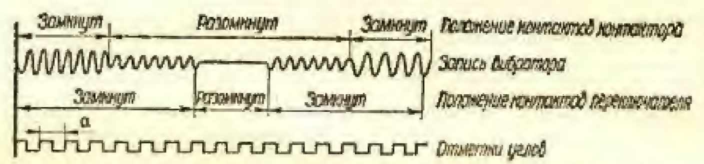


Рис. IX.16. Осциллограмма действия переключающего устройства.

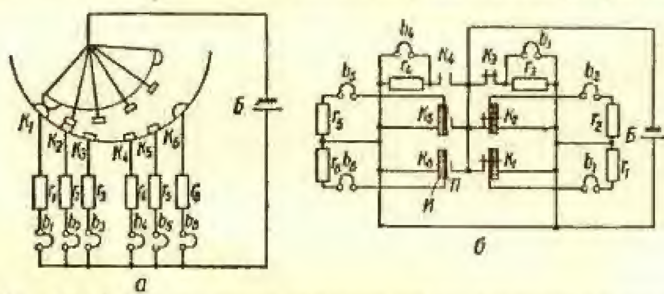


Рис. IX.17. Схемы снятия диаграмм работы быстродействующего контактора:

а — при включении вибраторов непосредственно в цепь контакторов; *б* — при невозможности такого включения; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6 — контакты контактора; r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 — сопротивления; b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6 — вибраторы осциллографа; *Б* — батарея; *И* — изоляционная прокладка; *П* — проводящая прокладка.

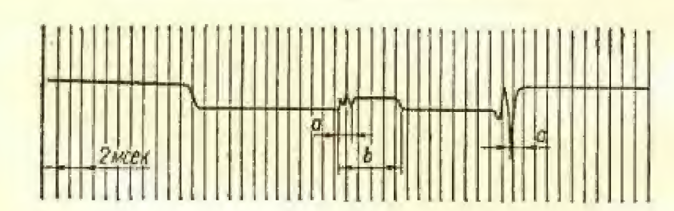


Рис. IX.18. Осциллограмма действия контактов быстродействующего контактора переключающего устройства.

Пуск осциллографа осуществляется вручную или автоматически одновременно с включением электродвигателя переключающего устройства.

По снятым осциллограммам строят развернутые круговые диаграммы.

На рис. IX.17 приведена схема включения вибраторов для снятия диаграммы (рис. IX.18) работы быстродействующего контактора.

Переключающее устройство считают выдержавшим проверку последовательности действия его контактов, если величины углов перекрытия контактов, углов смещения и люфтов, полученные по круговым диаграммам, а для быстродействующих контактов времена замкнутого и разомкнутого состояния контактов, продолжительности вибрации контактов и разрывов цепи, определенные по осциллограммам, не выходят за пределы, указанные в стандартах или технических условиях на переключающее устройство.

Параллельная работа трансформаторов

В соответствии с ГОСТом 11677-65, допускается параллельная работа двухобмоточных трансформаторов между собой, трехобмоточных трансформаторов между собой, а также двухобмоточных с трехобмоточными, если предварительным расчетом установлено, что ни одна из обмоток параллельно соединенных трансформаторов не нагружается выше ее нагрузочной способности. Не рекомендуется параллельная работа трансформаторов с отношением номинальных мощностей больше 3 : 1.

Для нормальной параллельной работы трансформаторов необходимо соблюдение следующих условий: 1) тождественность групп соединений обмоток; 2) равенство коэффициентов трансформации линейных напряжений при холостом ходе; 3) равенство напряжений короткого замыкания.

Включение трасформаторов на параллельную работу допустимо только после предварительной фазировки.

Параллельная работа трансформаторов с неодинаковыми коэффициентами трансформации

При неодинаковых значениях коэффициента трансформации трансформаторов вторичные их напряжения не равны друг другу и между ними в замкнутом контуре вторичных обмоток и в первичных обмотках уже при холостом ходе будут протекать уравнительные токи, обусловленные разностью вторичных напряжений.

Величина уравнительного тока

$$I_у = \frac{U_1 - U_2}{Z_{к1} - Z_{к2}}, \qquad (IX.41)$$

где $U_1 - U_2$ — разность вторичных напряжений; $Z_{к1}$ и $Z_{к2}$ — сопротивления трансформаторов.

При нагрузке трансформатор с более высоким вторичным напряжением принимает на себя в процентном отношении большую нагрузку.

Параллельная работа трансформаторов с неодинаковыми напряжениями короткого замыкания

При параллельной работе двух трансформаторов с одинаковыми напряжениями короткого замыкания нагрузки распределяются между трансформаторами пропорционально их мощностям.

Если же напряжения короткого замыкания ($U_{к.з}$) различны, то нагрузка распределится обратно пропорционально величинам $U_{к.з}$.

Параллельная работа трансформаторов с разными $U_{к.з}$ допустима в тех случаях, когда ни один из них не перегружен.

Параллельная работа трансформаторов с разными группами соединений обмоток

Параллельная работа трансформаторов возможна в следующих случаях: 1) при одинаковых группах соединений обмоток; 2) между четными группами соединений *0, 4, 8*, так как путем круговой перестановки зажимов эти группы могут быть приведены друг к другу; 3) между четными группами соединений *6, 10* и *2* по тем же соображениям; 4) между нечетными группами соединений *11, 3* и *7* и группами *5, 9* и *1*, так как они путем круговой перестановки зажимов могут быть приведены друг к другу.

Недопустима параллельная работа трансформаторов четных групп *0, 4* и *8* с трансформаторами групп *6, 10* и *2*, так как линейные э. д. с. в этих группах сдвинуты на 180°. Такие трансформаторы могут работать параллельно в том случае, если поменять местами начало и конец первичной или вторичной обмоток одного из трансформаторов. Поскольку обычно начало и конец обмотки не выведены наружу, подобное пересоединение связано с выемкой сердечника и перепайкой обмотки.

Параллельная работа трансформаторов четных и нечетных групп также недопустима, потому что ни при каких условиях и ни при каких пересоединениях невозможно четную группу превратить в нечетную и наоборот (без изменения коэффициента трансформации).

Возможность параллельной работы трансформаторов нечетных групп *11, 3* и *7* с трансформаторами нечетных групп *5, 9* и *1* без внутренних пересоединений осуществляют следующим образом.

Для параллельного включения трансформатора I группы с трансформатором II группы необходимо у первого трансформатора перекрестить две любые фазы на высшем напряжении и те же две фазы — на низшем. Для параллельного включения трансформатора группы *5* с трансформатором группы II необходимо у первого трансформатора перекрестить фазы *A* и *B* на высшем напряжении и фазы *b* и *c* — на низшем.

Фазировка трансформаторов

Под фазировкой понимают проверку совпадения фаз вторичных напряжений у двух трансформаторов, включаемых на параллельную работу.

Как правило, фазировка выполняется на низшем напряжении трансформаторов. На обмотках напряжением до 380 *в* включительно фазировка проводится вольтметром, до 10 *кв* — с помощью указателей напряжения, 20 *кв* и выше — через измерительные трансформаторы напряжения.

Для получения замкнутого электрического контура при выполнении измерений фазируемые обмотки следует предварительно соединить в одной точке. У обмоток с заземленными нейтралями таковым является соединение нейтралей через землю; иное соединение недопустимо, так как соединение двух различных фаз в этом случае приводит к короткому замыканию.

У трансформаторов с изолированной нейтралью перед фазировкой соединяются любые два вывода фазируемых обмоток (рис. IX.19).

Фазировка заключается в измерении напряжений между выводами фазируемых обмоток и попарном нахождении выводов, между которыми напряжение равно нулю.

При фазировке обмоток с заземленными нейтралями проводится девять измерений, с изолированными нейтралями — четыре.

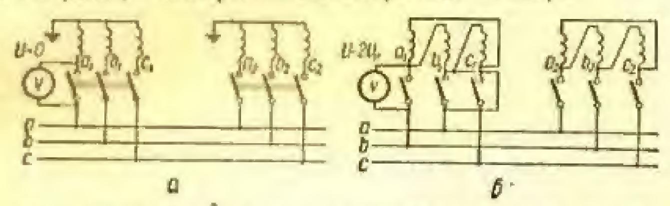


Рис. IX.19. Схемы фазировки трансформаторов на низком напряжении:

а — обмотка с глухим заземлением нейтрали; *б* — обмотка с изолированной нейтралью.

Приборы для фазировки трансформаторов с изолированной нейтралью должны быть рассчитаны на двойное линейное напряжение.

На напряжении до 10 *кв* используют два указателя напряжения, в одном из которых вместо конденсатора и неоновой лампы встроены

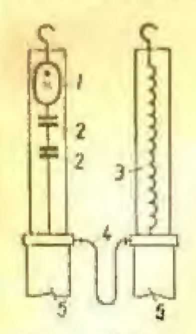


Рис. IX.20. Комплект для фазировки на напряжении 2—10 *кв*:

1 — неоновая лампа; *2* — конденсаторы; *3* — сопротивление; *4* — провод ПВЛ или ПВГ; *5* — указатели напряжения.

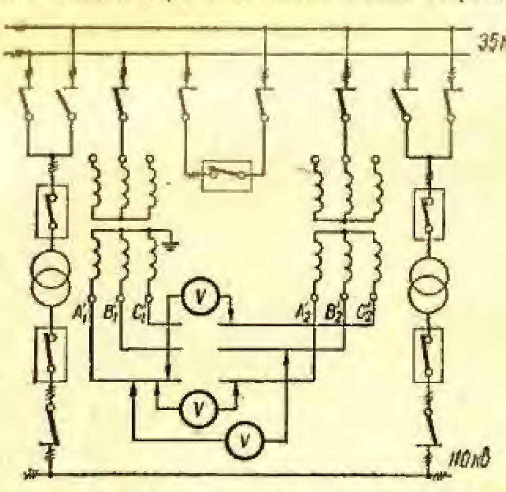


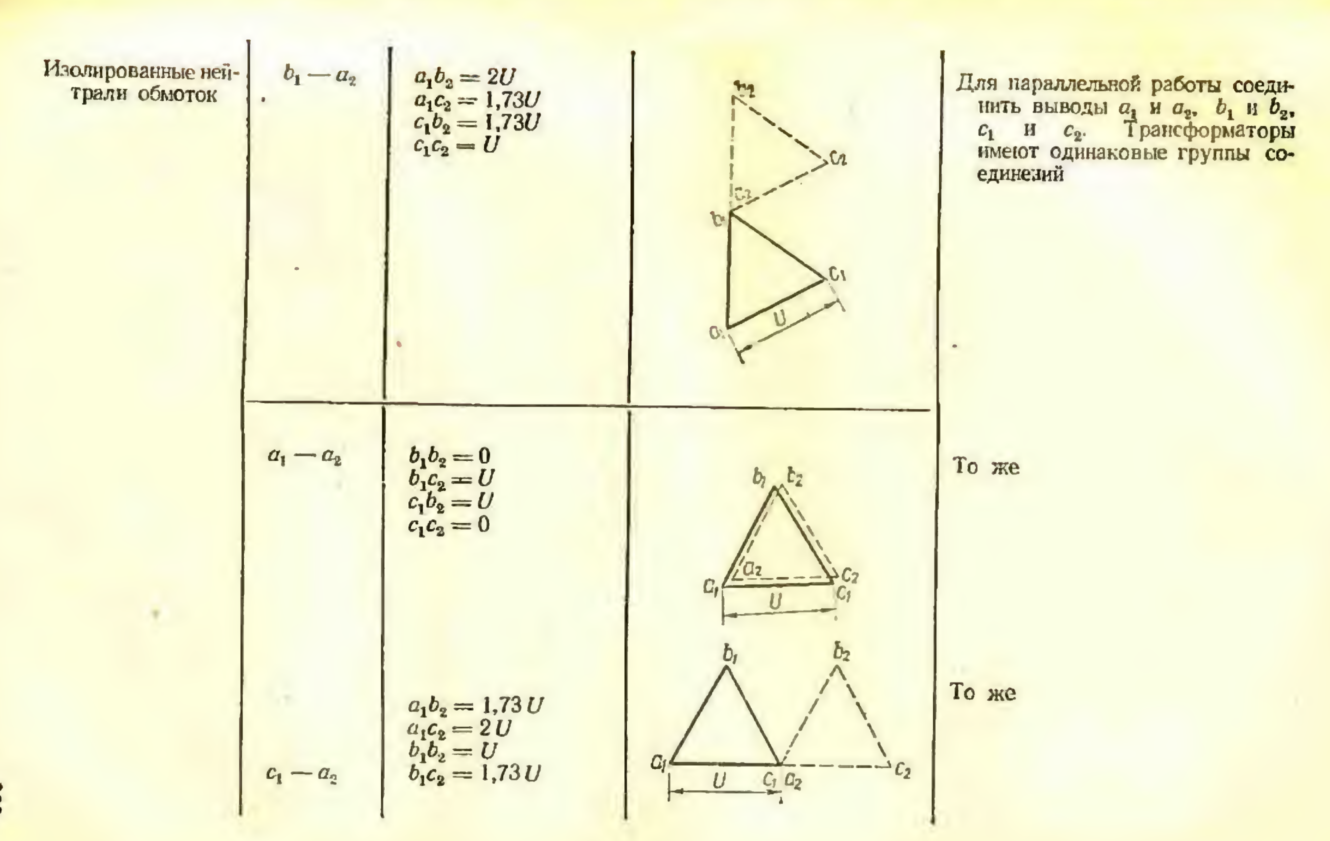
Рис. IX.21. Принципиальная схема фазировки трансформаторами напряжения, присоединенными к шинам.

омические сопротивления величиной 3—4 *Мом* для напряжения 6 *кв* и 5—7 *Мом* — для напряжения 10 *кв* (рис. IX.20). Зажимы обоих указателей соединяют гибким проводом с усиленной изоляцией (типа ПВЛ или ПВГ). Перед фазировкой проверяют исправность указателя прикосновением к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Фазируемые обмотки с изолированной нейтралью в одной точке соединяют либо включением одной фазы разъединителя, либо указателями

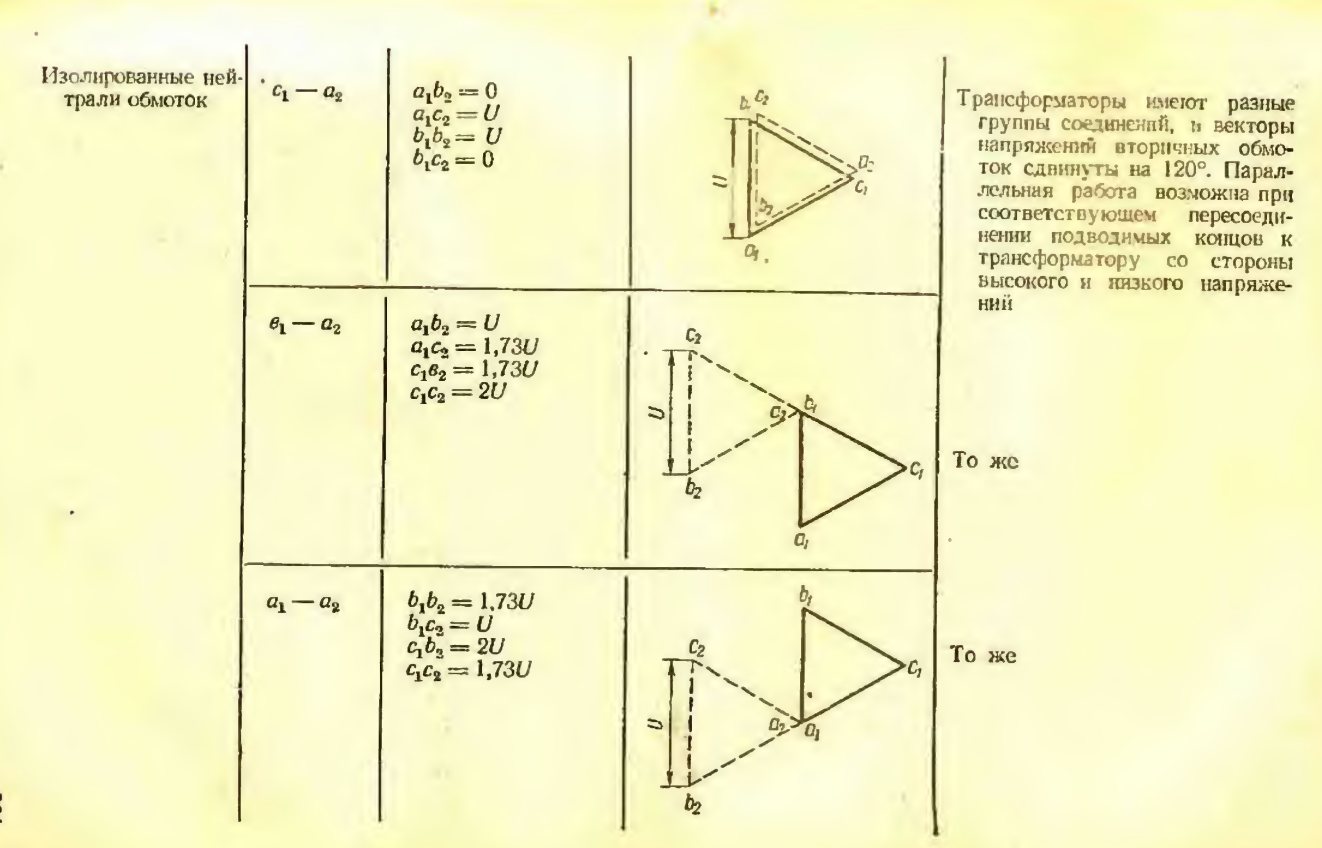
Таблица IX.13

Векторные диаграммы напряжений трансформаторов при фазировке

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Заземленные нейтрали обмоток или общий нулевой провод	Перемычка не ставится	$a_1a_2 = 1{,}15\,U$ $a_1b_2 = 0{,}58\,U$ $a_1c_2 = 0{,}58\,U$ $b_1a_2 = 0{,}58\,U$ $b_1b_2 = 1{,}15\,U$ $b_1c_2 = 0{,}58\,U$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 180°. Для параллельной работы необходимо пересоединить подводимые концы к трансформатору (с нечетными группамв соединений) со стороны высокого и низкого напряжений
	Перемычка не ставится	$a_1a_2 = 0{,}3\,U$ $a_1b_2 = 0{,}8\,U$ $a_1c_2 = 1{,}1\,U$ $b_1a_2 = 1{,}1\,U$ $b_1b_2 = 0{,}8\,U$ $b_1c_2 = 0{,}8\,U$		Параллельная работа невозможна, трансформаторы имеют разные группы соединений, векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 30°
	Перемычка не ставится	$a_1a_2 = 0$ $a_1b_2 = U$ $a_1c_2 = U$ $b_1a_2 = U$ $b_1b_2 = 0$ $b_1c_2 = U$		Для параллельной работы соединить выводы a_1 и a_2, b_1 и b_2, c_1 и c_2. Трансформаторы имеют одинаковые группы соединений
Изолированные нейтрали обмоток	$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = 2U$ $a_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 1{,}73U$ $c_1c_2 = U$		Для параллельной работы соединить выводы a_1 и a_2, b_1 и b_2, c_1 и c_2. Трансформаторы имеют одинаковые группы соединений
	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 0$ $b_1c_2 = U$ $c_1b_2 = U$ $c_1c_2 = 0$		То же
	$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = 1{,}73\,U$ $a_1c_2 = 2\,U$ $b_1b_2 = U$ $b_1c_2 = 1{,}73\,U$		То же

Продолжение табл. IX.13

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Изолированные нейтрали обмоток	$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = U$ $a_1c_2 = 0$ $b_1b_2 = 1{,}73U$ $b_1c_2 = U$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, и векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 180°. Параллельная работа возможна между трансформаторами нечетных групп при соответствующем присоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого и низкого напряжений
	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 2U$ $b_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 1{,}73U$ $c_1c_1 = 2U$		То же
	$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = 0$ $a_1c_2 = U$ $c_1b_2 = U$ $c_1c_2 = 1{,}73U$		То же

Изолированные нейтрали обмоток	$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = 0$ $a_1c_2 = U$ $b_1b_2 = U$ $b_1c_2 = 0$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, и векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 120°. Параллельная работа возможна при соответствующем пересоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого и низкого напряжений
	$в_1 - a_2$	$a_1b_2 = U$ $a_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1в_2 = 1{,}73U$ $c_1c_2 = 2U$		То же
	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 1{,}73U$ $b_1c_2 = U$ $c_1b_3 = 2U$ $c_1c_2 = 1{,}73U$		То же

Продолжение табл. IX.13

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Изолированные нейтрали обмоток	$c_1 - a_1$	$a_1b_2 = 2U$ $a_1c_2 = 1{,}73U$ $b_1b_2 = 1{,}73U$ $b_1c_2 = 2U$		Трансформаторы имеют разные группы соединений и векторы напряжений сдвинуты на 60°. Параллельная работа возможна между трансформаторами нечетных групп при соответствующем присоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого и низкого напряжений.
	$b_1 - c_2$	$a_1b_2 = 1{,}73U$ $a_1c_2 = U$ $c_1b_2 = U$ $c_1c_2 = 0$		То же
	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = U$ $b_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 0$ $c_1c_2 = U$		То же
	$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = 1{,}4U$ $a_1c_2 = 1{,}9U$ $b_1b_2 = 0{,}5U$ $b_1c_2 = 1{,}4U$		Параллельная работа невозможна, так как трансформаторы имеют разные группы соединений; векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 30°.
Изолированные нейтрали обмоток	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 0{,}5U$ $b_1c_2 = 0{,}54U$ $c_1b_2 = 1{,}4U$ $c_1c_2 = 0{,}5U$		Параллельная работа невозможна, так как трансформаторы имеют разные группы соединений; векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 30°.
	$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = 1{,}9U$ $a_1c_2 = 1{,}9U$ $c_2b_2 = 1{,}9U$ $c_1c_2 = 1{,}4U$		То же

напряжения или оперативными штангами, наконечники которых соединены проводом с усиленной изоляцией.

Крючки указателя и трубки с сопротивлением приближают к зажимам, которые нужно фазировать.

Измерения проводятся между теми же зажимами, что и в случае низкого напряжения. Если указатель напряжения не светится, то для более точного определения разности потенциалов можно прикоснуться крючками трубок к зажимам, на которых проводится фазировка. Продолжительность свечения указателей ввиду малой термической устойчивости сопротивлений, вмонтированных в трубку, не должна превышать 10—15 *сек*. Фазировку следует проводить с соблюдением мер безопасности при измерениях переносными приборами в установках напряжением выше 1000 *в*.

При фазировке на напряжении 20 *кв* и выше через измерительные трансформаторы напряжения предварительно должна быть проверена фазировка трансформаторов напряжения подачей на них одного и того же напряжения.

На рис. IX.21 в качестве примера приведена схема фазировки трансформаторов при двух системах сборных шин. Фазировка трансформаторов напряжения осуществляется включением шиносоединительного выключателя и подачей на оба трансформатора напряжения от одного из фазируемых трансформаторов. Шиносоединительный выключатель отключается, и на вторую систему шин включается трансформатор, подлежащий фазировке. Выполняется фазировка через трансформаторы напряжения описанными ранее методами на низком напряжении трансформаторов с заземленной нейтралью. При нулевых показаниях между ранее сфазированными зажимами трансформаторов напряжения фазировка считается законченной.

В табл. IX.13 приведены результаты измерений, векторные диаграммы по результатам измерений, а также оценка результатов измерений при фазировке трансформаторов с различными группами соединений обмоток при заземленной и изолированной нейтрали.

Глава X

РТУТНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Наладка ртутных выпрямителей

В объем наладки ртутно-выпрямительного агрегата в общем случае входит комплекс испытаний питающего трансформатора, ртутных вентилей (РВ), оборудования собственных нужд выпрямителя, аппаратуры управления зажиганием и возбуждением РВ, системы сеточного управления, катодных и уравнительных реакторов, анодных делителей, быстродействующих автоматов.

Наладка силового трансформатора проводится в объеме и по методике, приведенным в гл. IX.

Дополнительно снимается векторная диаграмма напряжений, обычно с помощью вольтметра при холостом ходе трансформатора и питании его обмотки пониженным напряжением.

Методика наладки быстродействующих автоматов рассмотрена в гл. XVI.

Проверка реакторов и анодных делителей выполняется в следующем объеме: 1) испытание изоляции обмоток; 2) проверка отсутствия короткозамкнутых витков; 3) измерение омического сопротивления обмоток (необязательно).

Путем осмотра и прозвонки проверяют правильность подключения трансформатора к питающей сети, к анодам преобразователя, подключения реакторов, быстродействующих выключателей и нагрузки преобразователя. Объемы типовых и контрольных испытаний РВ определены в ГОСТе 2329-62.

Наладка ртутных вентилей при приемо-сдаточных испытаниях проводится в следующем объеме: 1) внешний осмотр; 2) проверка изоляции; 3) измерение сопротивления встроенных устройств зажигания и возбуждения; 4) включение системы зажигания и возбуждения, проверка их исправности, проверка состояния вакуума; 5) предпусковая формовка током анодов возбуждения; 6) фазировка сеток; 7) зажигание главных анодов, проверка падения напряжения в дуге, проверка равномерности загрузки анодов всех фаз; 8) снятие регулировочной, а при возможности и нагрузочной характеристик.

1. При внешнем осмотре проверяется соответствие установки вентилей заводской инструкции. Стеклянные РВ устанавливаются на эластичной подвеске строго вертикально; место крепления колбы прокладывается асбестом; контактные соединения (особенно на анодах) должны быть надежными и плотными; соединительные провода у электродов РВ подвешиваются свободно. В металлических вентилях проверяют состояние деталей, изолирующих бак от тележки (или фундамента), а также качество выполнения первичной и вторичной коммутации, проверяется чистота всех деталей.

Таблица X.1

Испытательное напряжение изоляции деталей, узлов и цепей вентилей, преобразователей и преобразовательных трансформаторов при длительности испытания 1 *мин* и $f = 50$ *гц* (ГОСТ 2329-62)

Наименование испытуемых деталей, узлов и цепей	Наименование узлов и деталей, по отношению к которым испытывают изоляцию	Действующие значения испытательного напряжения, *в*	
		Нулевая схема	Мостовая схема
	Вентили		
Анод	Корпус	$U_m + 5\,000$	$U_m + 5000$
Делящая вставка	Корпус, анод	$0{,}5U_m + 2\,500$	$0{,}5U_m + 2500$
Сетка	Корпус, фильтр (если выведен)	1 500	1500
Вспомогательные электроды (за исключением зажигателей и подхватывающих анодов в игнитронах)	Корпус	1500	1500
Подхватывающие аноды в игнитронах	»	500	500
Катод	»	500	500
	Преобразователи		
Цепи, связанные с анодами	Заземленные детали	$3U_{dio} + 5000$	$1{,}5U_{dio} + 5000$
Катоды и корпусы вентилей и связанные с катодами цепи, расположенные в шкафах	Заземленные детали	$2U_{dio} + 1000$ (но не меньше 3000)	$1{,}5U_{dio} + 5000$
Рамы	Заземленные детали	$2U_{dio} + 1000$	$2U_{dio} + 1000$
Вторичные обмотки вспомогательных трансформаторов и связанные с ними цепи	Первичные обмотки вспомогательных трансформаторов и связанные с ними цепи, а также заземленные детали	$2U_{dio} + 1000$ (но не меньше (3000)	$1{,}5U_{dio} + 5000$
Первичные обмотки вспомогательных трансформаторов и цепи, с ними связанные	Заземленные детали	2000	200
Первичные обмотки вспомогательных трансформаторов и цепи, с ними связанные	Изолированные от земли рамы (в случае прокладки по ним проводов)	$2U_{dio} + 1000$	$2U_{dio} + 1000$
	Преобразовательные трансформаторы		
Вентильные обмотки и их выводы	Корпус и другие обмотки	$3U_{dio} + 5000$	$1{,}5U_{dio} + 5000$
Уравнительные реакторы (обмотки и выводы) и вторичные обмотки утроителей частоты	Корпус	$3U_{dio} + 5000$	—
Ветви уравнительного реактора	По отношению друг к другу	$2U_{dio} + 1000$	—
Анодные делители (обмотки и выводы)	Корпус и заземленные детали	$3U_{dio} + 5000$	$1{,}5U_{dio} + 5000$

Продолжение табл. X.1

Примечание. В таблице приняты обозначения: U_m — амплитудное номинальное обратное напряжение; U_{dio} — номинальное выпрямленное напряжение при холостом ходе преобразователя.

2. Сопротивление изоляции между электродами измеряется мегомметром на 1000 *в* при отключенных от вентиля проводах и кабелях и температуре корпуса не выше 25° С. Измеряется сопротивление изоляции главных анодов относительно корпуса и сеток, анодов возбуждения относительно корпуса, сетки относительно корпуса, катода относительно корпуса. Все сопротивления должны быть не ниже ~ 10 *Мом*, за исключением промежутка катод — корпус, где для экситронов допускается сопротивление изоляции ~ 100 *ком* (в игнитронах катод от корпуса не изолирован). Результаты измерений сопротивления изоляции следует сравнить с данными завода-изготовителя.

Проводится испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции элементов преобразовательного агрегата. В табл. X.1 приведены величины заводских испытательных напряжений.

Величину испытательного напряжения принимают равной 75% заводского испытательного напряжения. Продолжительность испытания 1 *мин*.

3. Сопротивления встроенных электромагнитов измеряются мостом и сопоставляются с паспортными данными.

4. Системы зажигания и возбуждения настраиваются в соответствии со схемой управления с соблюдением особой осторожности, так как

повреждение любой встроенной детали потребует капитальной ревизии выпрямителя. В связи с этим схему предварительно испытывают и настраивают при отключенных электродах; необходимо предусмотреть защиту от недопустимого перегревания при отказе отдельных элементов схемы. При настройке проверяют правильность сборки схемы, полярность трансформаторов, проводят измерение и испытание сопротивления

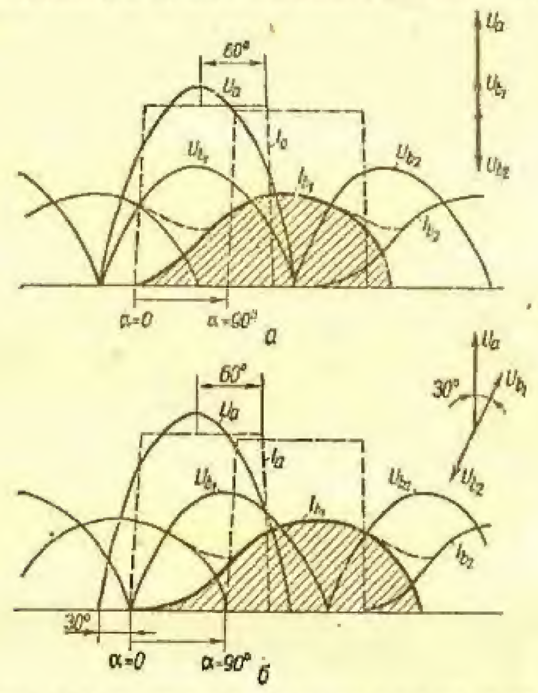


Рис. X.1. Фазировка возбуждения вентилей преобразователей:

а — анодное напряжение в фазе с напряжением возбуждения; *б* — напряжение сдвинуто на 30 *электр. град*; V_a — анодное напряжение; V_{b_1}, V_{b_2} — напряжение возбуждения; I_a — анодный ток; I_{b_1}, I_{b_2} — токи анодов возбуждения; α — угол регулирования.

всех элементов и схемы, измеряют сопротивления постоянному току катушек, реостатов, проверяют исправность конденсаторов, настраивают релейно-контакторную аппаратуру.

После окончания настройки системы зажигания и возбуждения выполняется фазировка анодов возбуждения с главными анодами. Для экситронов с двумя анодами возбуждения фазировка должна быть выполнена так, чтобы в момент погасания главного анода величина тока возбуждения была близка к максимальной (рис. X.1). Сдвиг фаз между напряжениями главных анодов и анодов возбуждения определяется группами соединения трансформаторов и может быть различным, но обязательно кратным 30 *электр. град*. Путем круговой перестановки фаз и измене-

ния направления включения обмоток трансформаторов возбуждения все случаи можно свести к двум: 1) шестифазная система напряжений анодов возбуждения находится в фазе с системой главных анодов; 2) системы сдвинуты на 30 *электр. град*.

Фазировку можно выполнить вольтметром или осциллографом. При использовании шлейфового осциллографа на один вибратор подается напряжение главного анода, на другой — напряжение анода возбуждения того же вентиля. Электронный осциллограф позволяет просматривать кривые последовательно (осциллограф синхронизируется по сети).

Для игнитронов момент поджига выбирается с некоторым опережением (на 5—7 *электр. град.*) по отношению к моменту зажигания главного анода при минимальном угле регулирования. Время горения подхватывающего анода должно быть несколько больше полного диапазона регулирования с учетом того, чтобы главный анод мог быть зажжен при максимальном угле регулирования.

После окончания фазировки РВ возбуждают, проверяют четкость работы системы зажигания и возбуждения и измеряют токи возбуждения каждого вентиля.

Состояние вакуума в стеклянных РВ можно оценить по цвету дуги: при хорошем вакууме дуга имеет сине-фиолетовый цвет; с ухудшением вакуума появляются оранжевые оттенки. Состояние вакуума в металлических вентилях можно определить, измерив падение напряжения в дуге.

5. Формовка вентилей проводится по заводской инструкции. Для многих стеклянных и запаянных металлических вентилей предпусковая формовка сводится к поддержанию длительного горения анодов возбуждения.

6. Фазировку сеточных и анодных напряжений рекомендуется выполнять в следующем порядке.

а. Измерить величину и проверить порядок чередования фаз анодных напряжений. Измерения проводить непосредственно на анодах вентилей. Если величина анодных напряжений не допускает непосредственного подключения приборов, использовать делитель, собираемый из активных сопротивлений. Для фазных и междуфазных напряжений главных анодов в шестифазной схеме справедливы соотношения:

$$U_{1-0} = U_{2-0} = U_{3-0} = U_{4-0} = U_{5-0} = U_{6-0}; \quad (X.1)$$

$$U_{1-2} = U_{2-3} = U_{3-4} = U_{4-5} = U_{5-6} = U_{6-1}; \quad (X.2)$$

$$U_{1-3} = U_{1-5} = U_{2-4} = U_{2-6} = U_{3-5} = U_{4-6}; \quad (X.3)$$

$$U_{1-4} = U_{2-5} = U_{3-6}; \quad (X.4)$$

$$U_{1-0} = U_{1-2} = U_{2-0} = U_{2-3} = U_{3-0} = U_{3-4} = \cdots; \quad (X.5)$$

$$U_{1-3} = \sqrt{3}U_{1-0} = \sqrt{3}U_{1-2} = U_{2-4} = \sqrt{3}U_{2-0} = \sqrt{3}U_{2-3} = \cdots; \quad (X.6)$$

$$U_{1-4} = 2U_{1-0} = 2U_{1-2} = U_{2-5} = 2U_{2-0} = 2U_{2-3} = \cdots \quad (X.7)$$

б. Проверить форму, величину и порядок чередования импульсов сеточных наряжений непосредственно на сеточных вводах вентилей.

в. Наблюдая с помощью осциллографа анодное напряжение вентиля, определить правильное положение сеточного импульса для одной точки диапазона (например, для угла α = 0). С помощью фазосдвигающего устройства сдвинуть сеточные импульсы в крайнее переднее положение (α = 0). Переключить осциллограф с анода на сетку вентиля и, наблюдая

сеточный импульс, установить его в нужное положение посредством фазорегулятора или переключением первичных обмоток трансформатора, питающего систему сеточного управления.

Если необходимо сдвинуть сеточные импульсы на 120 *электр. град*, то следует выполнить круговую перестановку на зажимах питания системы или на сетках вентилей (в шестифазных схемах перестановкой на сетках можно получить сдвиг и на 60 *электр. град.*).

Рис. X.2. Фазировка сеток и анодов с помощью вольтметра и делителя напряжения.

г. Поочередным подключением осциллографа к анодам и сеткам всех вентилей проверяется правильность фазировки для всех вентилей.

Фазировку можно выполнить без осциллографа с помощью вольтметра и фазоуказателя. Для этого необходимо сделать следующее.

С помощью фазосдвигающего устройства устанавливают угол сдвига фаз, близкий к нулю.

Если напряжение главных анодов значительно (больше чем в два раза) отличается от величины сеточных импульсов, между одним из анодов и нулевой точкой включают потенциометр (делитель напряжения) или трансформатор напряжения. В последнем случае соответствующий вывод вторичной обмотки трансформатора напряжения соединяют с нулевой точкой так, чтобы направление векторов фазного напряжения РВ и вторичной обмотки трансформатора напряжения совпали.

Таблица X.2

Величины падения напряжения в дуге РВ, в

Номинальный ток вентиля, *а*	Максимальное значение обратного напряжения, *кв*			
	до 2,5	5	10	15
50 и 100	18	—	—	—
200 и 250	20	—	23	25
300	—	23	—	—
500	21	24	—	—
1000	23	—	—	—

Между движком потенциометра или фазным выводом вторичной обмотки трансформатора напряжения, с одной стороны, и поочередно между всеми сеточными электродами, с другой, включают вольтметр (желательно с большим внутренним сопротивлением).

На сетке, одноименной с выбранным анодом, показания вольтметра наименьшие. На двух соседних с первой сетках показания выше и притом равны друг другу. Если показания не равны, следует изменить положение фазосдвигающего устройства и повторить измерения. На следующих двух сетках напряжения также равны друг другу и больше, чем предыдущие. На последней сетке, диаметрально противоположной первой, самое большое напряжение (рис. X.2).

д. Для проверки указанные операции следует повторить еще для одного-двух главных анодов.

7. При работе вентилей под нагрузкой измеряется распределение токов между вентилями преобразователя. Такую проверку удобно выполнять токоизмерительными клещами, которыми поочередно охватывают анодные выводы вентилей. В начале формовки допустима неравномерность около 20%, а в конце — 5%. Допустимая неравномерность токовой загрузки у вентилей, находящихся в эксплуатации, близка к 10%.

Для оценки состояния вакуума вентиля производится измерение величины падения напряжения в дуге $U_д$.

Для одноанодных вентилей падение напряжения в дуге, в соответствии с ГОСТом 2329-62, не превышает значений, приведенных в

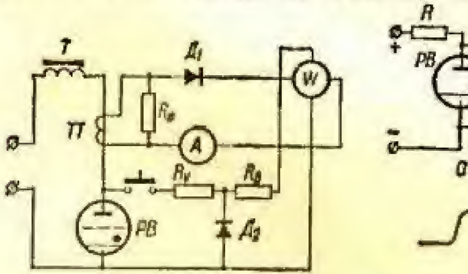


Рис. X.3. Схема измерения падения напряжения в дуге РВ

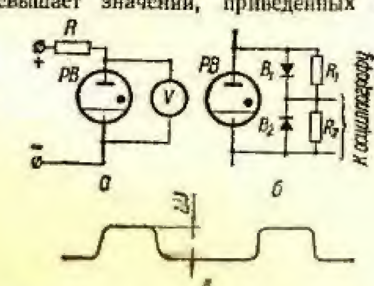


Рис. X.4. Измерение падения напряжения в дуге ртутного вентиля:

а — схема измерения на постоянном токе; *б* — схема измерения при питании от сети переменного тока; *в* — форма кривой на экране осциллографа; B_1, B_2, R_1, R_2 — вентили и сопротивления измерительной схемы

табл. X.2. Для многоанодных вентилей падение напряжения в дуге не больше 20 *в*. Величина разброса для вентилей одного типа не более 2 *в*.

ГОСТом 2329-62 предусмотрена схема измерения падения напряжения в вентиле методом ваттметра (рис. X.3). При этом требуется, чтобы:

а. Падение напряжения на полупроводниковом вентиле $Д_1$, включенном во вторичную цепь трансформатора тока, не превышало 1 *в*.

б. Отношение среднего тока первичной обмотки трансформатора тока к среднему току вторичной обмотки отличалось от номинального коэффициента трансформации не больше, чем на 3%.

в. При измерениях использовался амперметр магнитоэлектрической системы класса точности 0,2—0,5.

г. Ваттметр имел такие пределы измерения: по току 2,5—5 *а*, по напряжению 75—600 *в*. Прибор должен быть пригоден для измерений в цепях с коэффициентом мощности 0,1—0,3, экранирован от внешних электромагнитных полей.

Падение напряжения в дуге $U_д$ по показаниям ваттметра и амперметра определяется из соотношения

$$U_д = \frac{P}{I}\left(\frac{R_w + R_v}{R_w}\right) [в]. \qquad (X.8)$$

Здесь

$$R_w = R + R_{доб} \ [ом], \qquad (X.9)$$

причем R — сопротивление обмотки напряжения ваттметра; $R_{доб}$ — добавочное сопротивление ваттметра; R_v — сопротивление, ограничивающее ток в полупроводниковом вентиле $Д_2$.

Таблица X.3

Основные соотношения электрических величин наиболее распространенных схем выпрямления с РВ

Схема соединения	Схема соединения РВ и трансформаторов	Выпрямленное напряжение U_d	Вторичное напряжение трансформатора U_2	Амплитудное значение обратного напряжения $U_{b\ макс}$	Выпрямленный ток I_d	Ток вторичной обмотки трансформатора I_2	Ток первичной обмотки трансформатора I_1	Анодный ток I_b	Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора P_1	Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора P_2	Типовая мощность трансформатора $P_т$
	Шестифазная схема с соединением вторичных обмоток в звезду	$1{,}35\,U_2$	$0{,}74\,U_d$	$2{,}1\,U_d$	$2{,}45\,I_2$	$0{,}41\,I_d$	$\frac{0{,}58}{k}\,I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$1{,}28\,P_d$	$1{,}81\,P_d$	$1{,}55\,P_d$
	То же с соединением вторичных обмоток в две обратные звезды с разделительной катушкой	$1{,}17\,U_2$	$0{,}855\,U_d$	$2{,}1\,U_d$	$3{,}46\,I_2$	$0{,}29\,I_d$	$\frac{0{,}41}{k}\,I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$1{,}04\,P_d$	$1{,}48\,P_d$	$1{,}26\,P_d$
	То же с соединением вторичных обмоток трансформатора в двойной зигзаг	$1{,}35\,U_2$	$0{,}74\,U_d$	$2{,}1\,U_d$	$2{,}45\,I_2$	$0{,}41\,I_d$	$\frac{0{,}82}{k}\,I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$1{,}04\,P_d$	$1{,}79\,P_d$	$1{,}42\,P_d$

Примечания: 1. При расчете напряжения U_d для ртутных выпрямителей следует учесть падение в дуге выпрямителя $\Delta U_Д$, принимаемое равным 20—25 в. 2. В таблице принято: k — коэффициент трансформации выпрямительного трансформатора; P_d — отдаваемая выпрямителем мощность, $P_d = U_d I_d$.

В практике наладочных работ падение напряжения в дуге измеряется вольтметром (рис. X.4, *а*) или осциллографом (рис. X.4, *б*). Перед измерением вентиль прогревается до температуры примерно 40° С.

При измерении вольтметром питание вентиля осуществляется от сети постоянного тока. Сопротивление R служит для ограничения величины анодного тока до 10—20 *а*.

При измерении осциллографом вентиль получает питание от сети переменного тока по постоянной рабочей схеме. Показанная на рис. X.4, *б* схема измерений позволяет подавать на вход осциллографа только падение напряжения в дуге, так как при обратном напряжении вентиль B_2 шунтирует вход осциллографа. Кривая, наблюдаемая на экране осциллографа, показана на рис. X.4, *в*.

При измерении электронным осциллографом корпус последнего находится под напряжением и проводить измерения можно только стоя на изолирующем основании и с соблюдением всех мер техники безопасности. Корпус осциллографа также необходимо изолировать от земли, а при напряжениях в несколько сотен вольт, опасных для внутренней изоляции

осциллографа, его питание осуществляется через изолирующий трансформатор.

8. Для настройки системы управления РВ снимается регулировочная характеристика (рис. X.5), являющаяся зависимостью выпрямленного напряжения РВ U_d от угла фазного напряжения смещения сеток α.

При снятии этой характеристики выпрямитель должен быть включен на балластное сопротивление, обеспечивающее протекание через РВ тока, равного 0,5—1% номинального.

Выпрямленное напряжение измеряют магнитоэлектрическим вольтметром класса точности 0,5; контроль желательно осуществлять электронным осциллографом.

Угол фазного смещения определяется либо как величина, пропорциональная углу поворота ротора электромашинного фазовращателя (на валу укрепляется стрелка, а на статоре — шкала угловых градусов), либо на основании данных измерения входной величины статического фазовращателя с последующим переводом ее в углы фазового смещения по фазовой характеристике системы сеточного управления.

Внешняя характеристика представляет собой зависимость выпрямленного напряжения РВ от тока нагрузки его. Ток и напряжение измеряют магнитоэлектрическими приборами класса 0,5 (или 0,2). Если естественная нагрузка не позволяет плавно изменять ток РВ, на время снятия характеристики его можно включить на реостат (чаще всего водяной).

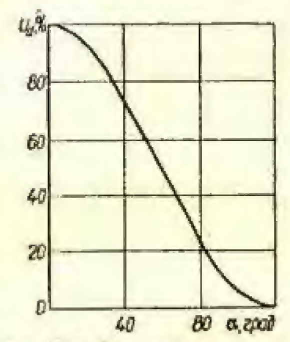


Рис. X.5. Регулировочная характеристика РВ $U_d = f(\alpha)$.

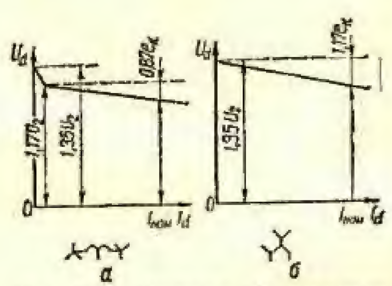


Рис. X.6. Внешние характеристики РВ:

а — соединение вторичных обмоток трансформатора в две звезды с уравнительным реактором; *б* — соединение в двойной зигзаг.

На рис. X.6 показаны внешние характеристики РВ, питаемых при соединении вторичных обмоток трансформатора в две обратные звезды с уравнительным реактором и при соединении их в двойной зигзаг.

В табл. X.3 и XVI.13 приведены основные соотношения электрических величин для наиболее распространенных схем выпрямления.

Наладка системы сеточного управления РВ

При наладке системы сеточного управления РВ проверяют изоляцию цепей системы, величину и полярность запирающего напряжения, форму сеточных импульсов и диапазон фазового регулирования.

До подачи напряжения на любую систему сеточного управления выполняются следующие работы: 1) проверка правильности сборки схемы; 2) измерение сопротивления изоляции элементов схемы; 3) проверка исправности элементов схемы (сопротивлений, конденсаторов, дросселей, трансформаторов, полупроводниковых приборов).

При проверке элементов схемы измеряется величина всех сопротивлений, а для регулируемых — также надежность подвижного контакта. При проверке трансформаторов и дросселей измеряют омические сопротивления обмоток, проверяют их полярность и сопротивление изоляции между обмотками. Чтобы проверить конденсаторы, их выпаивают одним полюсом из схемы и заряжают с помощью мегомметра (напряжение мегомметра должно быть не более допустимого для испытуемого конденсатора), а затем разряжают путем замыкания накоротко (при проверке электролитических конденсаторов мегомметр к ним подключают с соблюдением полярности, указанной на конденсаторе). Об исправности конденсатора судят по характерному щелчку при разряде. Конденсаторы малой

емкости такого щелчка не дают, проверяют их с помощью мегомметра на отсутствие пробоя.

Полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы) проверяются на отсутствие пробоя или обрыва (если в схеме есть шунтирующие цепи, на время проверки проверяемые приборы, как и сопротивления, отсоединяются от схемы).

В качестве примера рассмотрим методику наладки некоторых систем сеточного управления.

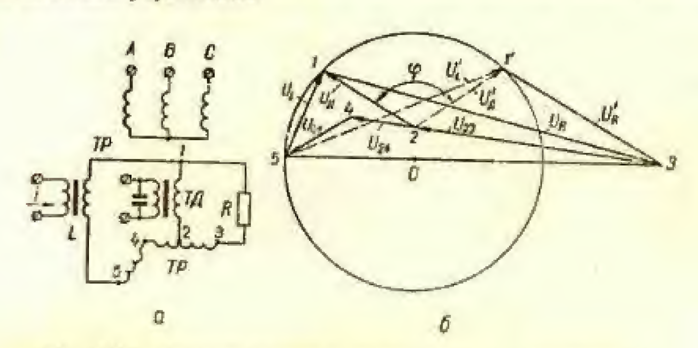


Рис. X.7. Фазосдвигающее устройство с расширенным диапазоном:

а — схема одной фазы; *б* — векторная диаграмма; *ТР* — питающий трансформатор; *ТД* — диагональный трансформатор; *L* — регулируемая индуктивность; *R* — сопротивление моста; U_{12}, U_{23}, U_{34} — напряжения питания моста; U_R, U_L — напряжения на активном и индуктивном плечах моста; U_D — напряжение выхода моста.

Система завода «Уралэлектротяжмаш» (УЭТМ). Система УЭТМ состоит из фазовращающего устройства и генератора сеточных импульсов. Статическое фазосдвигающее устройство представляет собой мостовую схему, двумя плечами которой являются не равные по числу витков вторичные обмотки трансформатора *ТР* (рис. X.7, *а*), а двумя другими — постоянное активное сопротивление *R* и переменная индуктивность *L*. Для расширения диапазона регулирования первые два плеча каждой фазы фазосдвигающего устройства образованы обмотками двух фаз трансформатора *ТР*. Индуктивность дросселя регулируется путем подмагничивания постоянным током. При изменении подмагничивающего тока изменяется распределение напряжений между активным и индуктивным сопротивлениями плеч моста. Характер этого изменения описывается круговой диаграммой (рис. X.7, *б*). Выходное напряжение моста, снимаемое с точек *1—2* диагонали моста при изменении величины подмагничивания, изменяется по фазе, оставаясь практически неизменным по величине.

Рабочий диапазон фазового сдвига фазосдвигающего устройства составляет 145—160 *электр. град.*

Выходное напряжение через изолирующие диагональные трансформаторы (ТД) подается на устройство генерации сеточных импульсов — пик-генератор, в котором осуществляется преобразование напряжения синусоидального в напряжение в виде пика определенной амплитуды, продолжительности и крутизны фронта. Схема пик-генератора состоит из шести однофазных насыщающихся трансформаторов, каждый из которых

имеет по две первичных и четыре вторичных обмотки. В обмотках, находящихся на одном и том же сердечнике, протекают токи двух фаз в противоположных направлениях.

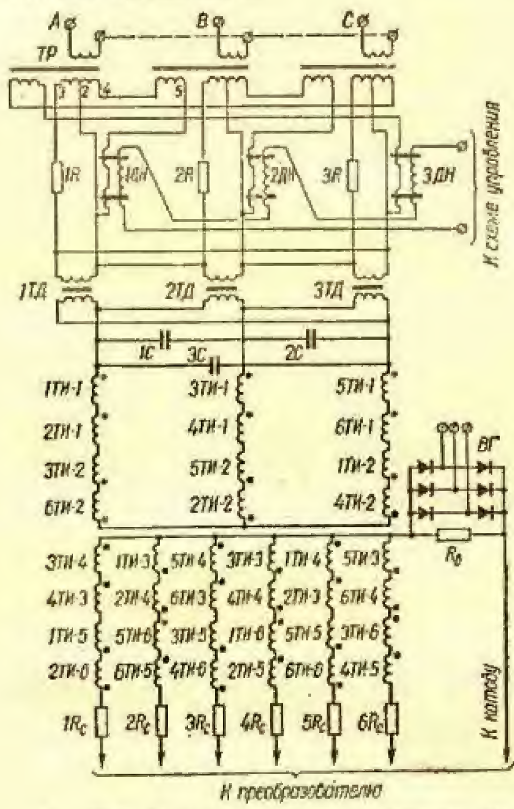


Рис. X.8. Упрощенная схема сеточного управления завода УЭТМ:

ТР — трансформатор питания; *1ДН*, *2ДН*, *3ДН* — дроссели насыщения; *1ТД*, *2ТД*, *3ТД* — трансформаторы диагональные; *1ТИ*, *2ТИ*, *3ТИ*, *4ТИ*, *5ТИ*, *6ТИ* — трансформаторы импульсные; R_c — сеточные сопротивления; *ВГ* — выпрямитель смещения; $R_б$ — балластное сопротивление; *ТИ* — обмотки пик-трансформаторов (*ТИ-1* — первичные многовитковые; *ТИ-2* — первичные маловитковые; *ТИ-3*, *ТИ-4*, *ТИ-5*, *ТИ-6* — вторичные).

Формирование сеточного импульса осуществляется суммированием э. д. с., индуктируемых во вторичных обмотках четырех пик-трансформаторов. Суммарный импульс имеет высоту около 250 *в*, ширину у основания около 150 *электр. град.*, а на высоте напряжения смещения — 120 *электр. град.* Упрощенная схема сеточного управления завода УЭТМ приведена на рис. X.8.

Наладка системы сеточного управления проводится в следующем порядке. После проверки исправности элементов схемы и правильности выполнения монтажа на систему сеточного управления при отключенном

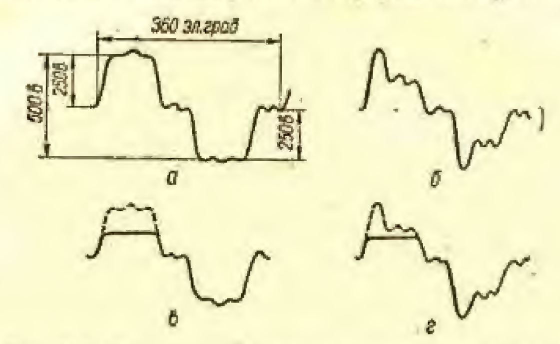


Рис. X.9. Форма сеточного импульса системы УЭТМ:

а — импульс пик-генератора типа ПГ2-120 без нагрузки; *б* — импульс пик-генератора типа ПГ3-120 без нагрузки; *в*, *г*, — те же импульсы, но под нагрузкой (вентиль возбужден).

возбуждении *РВ* подается напряжение и проверяется фазоуказателем чередование фаз. При первом включении системы электронным осциллографом проверяется форма и величина импульсов напряжения на ее выходе (рис. X.9). Перед измерениями проводится калибровка осциллографа по вертикальной (напряжение) и горизонтальной (время) осям. Калибровку осциллографа можно осуществлять либо от напряжения сети, либо от внутреннего источника калибровочного напряжения. В первом случае (рис. X.10, *а*) переключатель синхронизации устанавливают

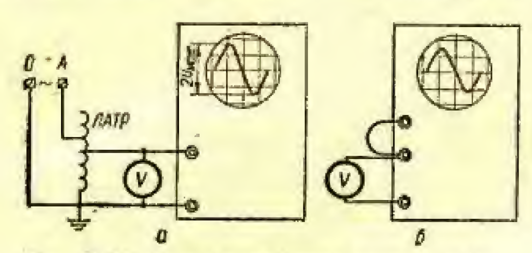


Рис. X.10. Схема калибровки осциллографа:

а — калибровка внешним напряжением; *б* — калибровка внутренним напряжением.

в положение синхронизации по сети, на вход осциллографа подают напряжение известной величины и, регулируя усиление осциллографа по вертикали, устанавливают удобный для отсчетов размах кривой напряжения на экране и определяют цену деления (масштаб) сетки осциллографа в вольтах. Полярность подключения напряжения калибровки должна учитывать, что один из входных зажимов осциллографа связан с его корпусом.

При калибровке осциллографа, имеющего внутренний источник калибровочного напряжения, на вход осциллографа подают напряжение

от специального зажима (рис. X.10, б). Собственное калибровочное напряжение невелико (около 6 в), после калибровки же цену деления сетки изменяют в 10 или 100 раз с помощью переключателя осциллографа. Собственное калибровочное напряжение следует измерять вольтметром с большим внутренним сопротивлением, причем в процессе калибровки его не отключать, так как это приведет к увеличению калибровочного напряжении.

Калибровка по горизонтальной оси выполняется одновременно с калибровкой по вертикали. Для этого кривая поданного на вход осциллографа напряжения растягивается (рукоятками развертки и усиления по горизонтали) по горизонтали до получения удобной цены деления сетки осциллографа. После калибровки осциллографа на его вход подаются выходные импульсы пик-генератора. Проверяются форма, величина и фазовый сдвиг по отношению друг к другу импульсов разных фаз. Фазовый сдвиг измеряется по переднему фронту импульса на высоте запирающего напряжения, соответствующей примерно середине высоты переднего фронта.

Искажение формы импульсов свидетельствует о неправильном чередовании фаз питающего напряжения или об ошибках, допущенных при проверке правильности схемы и исправности ее элементов. В этом случае следует проверить фазосдвигающее устройство при отключенном пик-генераторе. Выходные напряжения фазосдвигающего устройства должны быть одинаковыми по величине, форме и сдвинуты по отношению друг к другу на 120 *электр. град.*

При увеличении тока подмагничивания дросселей выходные напряжения должны смещаться в сторону опережения (влево на экране осциллографа) с сохранением между ними фазового сдвига 120 *электр. град.* Если фазосдвигающее устройство работает неправильно, следует с помощью осциллографа отыскать дефектный элемент или ошибку в схеме. При нормальной работе фазосдвигающего устройства к нему подключают пик-генератор и с помощью осциллографа проверяют импульсы напряжения на всех импульсных трансформаторах. При этом осциллограф включают поочередно на одну, две, три и четыре последовательно соединенные обмотки импульсных трансформаторов.

Следующим этапом наладки системы является проверка диапазона фазового регулирования при изменении тока управления фазосдвигающего устройства. Ток управления подается на фазосдвигающее устройство через потенциометрическую схему от постороннего источника постоянного тока, напряжение которого не должно иметь глубоких пульсаций (аккумуляторная батарея, трехфазный выпрямитель); одно- и двухфазные выпрямительные схемы для этой цели непригодны. Последовательным просмотром импульсов всех фаз в начале, середине и конце диапазона приближенно проверяется их симметрия.

Перед зажиганием РВ необходимо проверить величину и полярность запирающего напряжения. Для этого размыкают цепи зажигания вентилей и подают питание на трансформаторы возбуждения, от которых питается также выпрямитель запирающего напряжения. Провалы кривой запирающего напряжения свидетельствуют о неисправности одного или нескольких вентилей в схеме питания или об отсутствии одной из фаз запирающего напряжения.

Зажигание анодов возбуждения вентилей приводит к появлению сеточных токов и соответствующему изменению напряжения на сетках вентилей. Благодаря нагрузке на фазосдвигающее устройство выходные импульсы напряжения смещаются от положения, соответствующего холостому ходу системы сеточного управления, назад на несколько *электр. град.*

Полуволновая система

В этой системе генерирование и фазовый сдвиг осуществляются с помощью однополупериодного (полуволнового) магнитного усилителя, работающего в режиме дросселя насыщения. Принцип работы однополупериодного магнитного усилителя легко уяснить из схемы, приведенной на рис. X.11. Если предположить, что сердечник дросселя насыщения (ДН) размагничен, синусоидальное напряжение включается в момент прохождения через нуль, и следующий полупериод напряжения положителен, то с момента включения напряжения до тех пор, пока магнитная индукция сердечника не достигла насыщения, ток в цепи дросселя мал и почти все напряжение приложено к дросселю. После того, как индукция в сердечнике достигает величины B_s, сердечник насыщается, ток резко возрастает и до окончания положительного полупериода изменяется по синусоиде, амплитуда которой определяется приложенным напряжением и сопротивлением R. Угол между началом положительного полупериода и моментом насыщения сердечника — угол насыщения. Когда рабочий ток, спадая в конце полупериода, достигнет определенной величины, насыщение сердечника прекратится, индукция начнет уменьшаться и при токе, равном нулю, достигнет значения остаточной индукции.

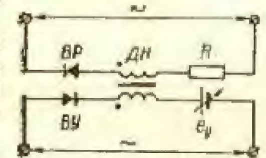


Рис. X.11. Схема генерирования и фазового сдвига импульса в полуволновой системе сеточного управления.

В течение отрицательного полупериода ток по рабочей обмотке дросселя ДН не протекает и под воздействием управляющего тока сердечник размагнитится и в нем установится новое значение индукции B_0, определяемое величиной управляющего тока в конце отрицательного полупериода.

В течение второго и всех последующих положительных полупериодов картина протекающих процессов будет такой же, как и в течение первого полупериода, с той лишь разницей, что магнитная индукция изменяется не от нуля, а от значения B_0, определяемого величиной управляющего тока в конце предшествующего отрицательного полупериода. Соответственно во втором полупериоде изменится угол насыщения. Если величина B_0 больше нуля, угол насыщения уменьшится, если же B_0 меньше нуля, угол насыщения увеличится. Таким образом, изменяя величину управляющей э. д. с. e_y, можно изменять угол насыщения от нуля до 180 *электр. град.*

Выходное напряжение усилителя (падение напряжения от рабочего тока на сопротивлении R) представляет собой по форме часть синусоиды с крутым передним фронтом и используется для отпирания РВ.

На рис. X.12 приведена принципиальная схема полуволновой системы сеточного управления. Управляющая э. д. с. e_y общая для всех фаз системы. В схеме предусмотрено специальное устройство для симметрирования (потенциометры 1П-3П и 11П-13П). Потенциометры 1П-3П позволяют индивидуально для каждой фазы системы выбрать напряжение цепи управления для компенсации возможных отклонений в параметрах дросселя и трансформатора. Потенциометры 11П-13П служат для ввода в цепь управления каждого дросселя небольшой корректирующей э. д. с. для компенсации различия магнитных характеристик дросселей.

Наладка системы в части генерирования и фазового сдвига импульсов сводится к проверке исправности элементов и правильности сборки

схемы. Методика проверки сопротивлений трансформаторов и полупроводниковых диодов особенностей не имеет.

Проверку дросселей рекомендуется проводить в следующем порядке: измерить сопротивление и полярность обмоток и проверить идентичность дросселей всех фаз. Сопротивление обмоток измеряется омметром. При подключении омметра к обмотке исправного дросселя стрелка вначале

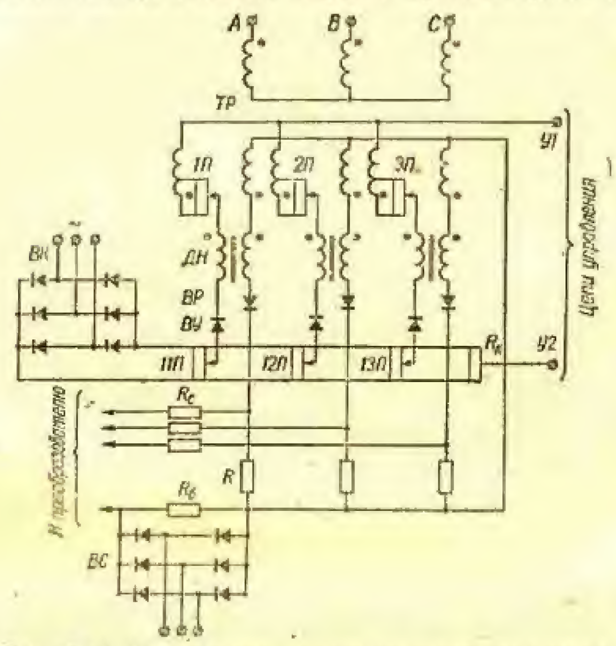


Рис. X.12. Полуволновая система сеточного управления:
ТР — питающий трансформатор; *ДН* — дроссели насыщения; *ВР* — вентили рабочие; *ВУ* — вентили управления; *R* — сопротивления рабочих цепей; $R_с$ — сеточные сопротивления; *ВС* — выпрямитель смещения; $R_б$ — балластное сопротивление; 1П—3П, 11П—13П — потенциометры коррекции, $R_к$ — сопротивление узла коррекции; *ВК* — выпрямитель коррекции.

неподвижна, затем отклоняется и достигает отметки шкалы, соответствующей измеряемому сопротивлению. При повторном подключении омметра без перемены полярности стрелка омметра устанавливается сразу. При перемене полярности подключения омметра стрелка его некоторое время (пока происходит перемагничивание сердечника) неподвижна. При наличии в обмотках дросселя короткозамкнутых витков процесс перемагничивания нельзя наблюдать с помощью омметра. Этот метод может быть применен для проверки маркировки обмоток.

Идентичность дросселей всех фаз проверяют по схеме, приведенной на рис. X.13. Постепенно повышая напряжение на дросселе, определяют момент насыщения сердечника дросселя, когда в кривой напряжения на экране осциллографа появляется перегиб. Для различных дросселей системы сеточного регулирования это напряжение не должно отличаться более чем на 1,5—2%.

Проверяют работу системы без узла симметрирования. Ползунки всех потенциометров 1П-3П, 11П-13П устанавливают в среднее положение, отключают питание выпрямителя коррекции, размыкают цепь управления и на систему подают напряжение. Измеряют напряжения рабочих цепей и цепей управления системы. Отношения этих напряжений для различных фаз системы не должны отличаться более чем на 2%. После измерения напряжений поочередным подключением осциллографа к нагрузочным сопротивлениям рабочих цепей проверяют форму и величину

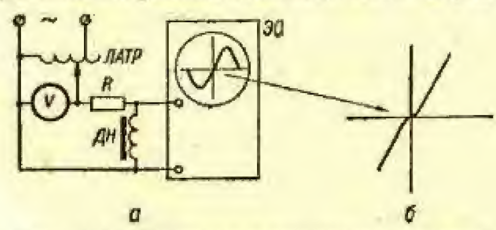


Рис. X.13. Проверка идентичности дросселей полуволновой системы:
а — схема; *б* — кривая на экране осциллографа.

всех выходных импульсов системы. При закорачивании цепи управления передний фронт импульса должен сдвигаться на угол не менее 110 *электр. град.* Передний фронт импульса при разомкнутой цепи управления не должен быть сдвинут от начала положительного полупериода питающего напряжения своей фазы на угол, больший 20—30 *электр. град.* Существенно больший сдвиг в одной или нескольких рабочих цепях системы свидетельствует о повышенном обратном токе вентилей ВР этих цепей, которые должны быть заменены.

Для выбора напряжения питания цепей управления на вход системы подключается источник управляющей э. д. с. $e_у$. Регулируя величину $e_у$, устанавливают передний фронт выходных импульсов напряжения системы в середину рабочего диапазона фазового регулирования (середине диапазона соответствует совпадение переднего фронта импульса с серединой положительного полупериода напряжения, питающего рабочую цепь данной фазы). В средней точке диапазона проверяется ассимметрия системы. Фаза, импульс которой занимает (с точки зрения симметрии) среднее положение по отношению к остальным, принимается в качестве базовой. С помощью потенциометров 1П-3П (в шестифазной схеме 1П-6П) остальные фазы симметрируются относительно базовой, потенциометр которой остается в среднем положении. Если оказывается недостаточной возможность регулирования в одну из сторон, то движок потенциометра базовой фазы сдвигают со среднего положения и симметрирование системы повторяется. Корректирующие э. д. с. выбирают с помощью потенциометров 11П-13П (в шестифазной схеме 11П-16П). Для этого работу системы проверяют в полном диапазоне. Измеряют асимметрию системы в начале, середине и конце диапазона (в конце диапазона асимметрия обычно бывает наибольшей). По результатам измерений в начале и середине диапазона определяется базовая фаза, все остальные симметрируются относительно ее. Используя устройство коррекции, асимметрию выходных импульсов напряжения системы во всем диапазоне регулирования можно снизить до величины менее 1 *электр. град.*

Глава XI

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И ИХ ВТОРИЧНЫЕ ЦЕПИ

Объем испытаний

Общие технические требования и методы типовых и контрольных испытаний трансформаторов напряжения и трансформаторов тока (ТТ) определены в ГОСТе 1983-67 и ГОСТе 7746-64.

Объем приемо-сдаточных испытаний измерительных трансформаторов, согласно ПУЭ, включает в себя следующие работы.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток.
2. Определение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции обмоток ТТ на напряжения 35 *кв* и выше, у которых оба вывода первичной обмотки рассчитаны на номинальное напряжение, а также для ТТ всех напряжений, основная изоляция которых выполнена из бумаги, бакелита или битуминозных материалов.
3. Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты.
4. Измерение тока холостого хода трансформаторов напряжения (ТН).
5. Снятие характеристик намагничивания сердечников ТТ.
6. Проверка полярности выводов однофазных и группы соединения трехфазных измерительных трансформаторов.
7. Измерение коэффициента трансформации на всех ответвлениях для встроенных ТТ, трансформаторов, предназначенных для учета электроэнергии, и трансформаторов, имеющих переключающее устройство.
8. Измерение сопротивления постоянному току связующих обмоток каскадных трансформаторов напряжения и ТТ на напряжения 110 *кв* и выше.
9. Испытание трансформаторного масла для измерительных трансформаторов напряжением 35 *кв* и выше.
10. Испытание вводов, рассчитанных на полное номинальное напряжение, с основной изоляцией из волокнистых материалов или жидких масс.

Тангенс угла диэлектрических потерь вводов определяется в том случае, когда есть вывод от измерительной обкладки.

Приведенный выше объем испытаний не относится к трансформаторам напряжения емкостного типа. Испытания емкостных ТН проводят в таком объеме: испытание конденсаторов емкостного делителя; испытание вентильных разрядников; измерение сопротивления изоляции обмоток и определение тангенса угла диэлектрических потерь обмотки высокого напряжения трансформаторного устройства (тангенс угла диэлектрических потерь при испытательном напряжении не должен превышать 2%); испытание изоляции вторичных обмоток повышенным напряжением промышленной частоты; измерение сопротивления постоянному току

реактора и понижающего трансформатора; измерение тока холостого хода трансформатора (при отсоединенном демпфирующем сопротивлении); измерение величины демпфирующего сопротивления (величина сопротивления не должна отличаться от данных заводских измерений более чем на ±10%).

В настоящей главе мы рассмотрим также объем и методы испытаний вторичных цепей измерительных трансформаторов.

Объем, методы и нормы испытания вводов и трансформаторного масла рассмотрены в гл. XIII.

Методика измерения сопротивления постоянному току приведена в гл. II. Отклонения измеренного сопротивления обмотки от паспортного значения или от сопротивления обмоток других фаз не должно превышать 2%.

Перед началом испытаний должен быть проведен внешний осмотр измерительного трансформатора. При этом проверяют состояние и целость фарфора и литой изоляции, наличие и уровень масла, отсутствие течи масла, состояние выводов обмоток, отсутствие вмятин на корпусе трансформатора, целость масломерного стекла, затяжку контактных соединений, наличие пломб, надежность заземления выводов обмоток и корпусов трансформаторов и т. п.

Измерение сопротивления изоляции обмоток

Методика измерения сопротивления изоляции приведена в гл. III. Сопротивление изоляции первичных обмоток измерительных трансформаторов измеряют при помощи мегомметра на напряжение 2500 *в*. Величина сопротивления изоляции не нормируется. Обычно величина сопротивления сухой, исправной изоляции составляет несколько тысяч мегомов. Сопротивление изоляции вторичных обмоток измеряют мегомметром на напряжение 1000 *в*. Величина сопротивления изоляции обмоток не нормируется, но вместе с присоединенными к ним цепями должна быть не менее 1 *Мом*. Сопротивление изоляции каждой обмотки измеряется по отношению к корпусу и остальным соединенным с ним обмоткам.

Для выравнивания напряженности поля в некоторых типах маслонаполненных ТТ на вторичные обмотки наложены экраны из металлической фольги. Экраны соединены с сердечниками обмоток и выведены на зажим З. У таких ТТ измеряется также сопротивление изоляции экранов относительно корпуса и соединенных с ним обмоток.

Определение тангенса угла диэлектрических потерь

Методика определения приведена в гл. III.

Величину $\operatorname{tg}\delta$ изоляции ТТ во всех случаях, когда это возможно, определяют по нормальной схеме измерительного моста. Измерение диэлектрических потерь изоляции ТТ типа ТФН проводится по нормальной мостовой схеме с подсоединением к мосту вывода З и соединенных с этим выводом закороченных вторичных обмоток. Вторичные цепи при измерениях следует отсоединить, удалить на достаточное расстояние от выводов вторичных обмоток и надежно заземлить.

Таблица XI.1

Максимальные значения tg δ ТТ, % (при температуре +20° С)

Объект испытаний	Номинальные напряжения, кв			
	35	110	150—220	330—500
Маслонаполненные ТТ с бумажно-масляной изоляцией	2,5	2	1,5	1
Трансформаторы тока с бакелитовой изоляцией	2,5	2	—	—

При испытании каскадных маслонаполненных ТТ tg δ находят для каждой ступени в отдельности.

Тангенс угла диэлектрических потерь ТТ не должен превышать величин, приведенных в табл. XI.1. Для каскадных ТТ величина tg δ дана для каждого элемента.

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Методика испытаний приведена в гл. III.

Величины испытательных напряжений для первичных обмоток приведены в табл. XI.2.

Продолжительность приложения испытательного напряжения для керамической изоляции 1 *мин*, для изоляции из твердых органических материалов или кабельных масс — 5 *мин*.

Таблица XI.2

Испытательные напряжения для изоляции измерительных трансформаторов, *кв*

Номинальное напряжение, кв	Измерительные трансформаторы с нормальной изоляцией		Измерительные трансформаторы с облегченной изоляцией
	ТТ	ТН	
3	22	22	12
6	29	29	19
10	38	38	29
15	49	49	43
20	58	58	—
35	85	85	—
110	225	180	—
150	290	250	—
220	425	360	—

Если один из выводов обмотки высокого напряжения ТН (типа НКФ, ЗОМ, ЗНОМ) имеет ослабленную изоляцию, испытания изоляции повышенным напряжением не проводятся. Состояние изоляции в этом случае оценивают по результатам измерения сопротивления изоляции.

Изоляция вторичных обмоток испытывается совместно с присоединенными вторичными цепями напряжением 1 *кв* в течение 1 *мин*. Изоляцию вторичных обмоток (без присоединенных вторичных цепей) рекомендуется испытать напряжением 1,8 *кв*.

Изоляцию каждой из обмоток испытывают относительно корпуса и соединенных с ним свободных обмоток. При испытании изоляции вторичных обмоток маслонаполненных ТТ типа ТФН вывод экрана следует соединить с корпусом ТТ.

Испытание повышенным напряжением смонтированных ТТ проводится совместно с присоединенной ошиновкой.

Измерение тока холостого хода трансформаторов напряжения

Ток холостого хода измеряют при номинальном напряжении, подводимом ко вторичной обмотке ТН (рис. XI.1).

Для трансформаторов с несимметричной магнитной системой (трехфазных трехстержневых) ток холостого хода определяют как среднее арифметическое суммы токов холостого хода всех трех фаз, поскольку у этих трансформаторов намагничивающий ток средней фазы меньше то-

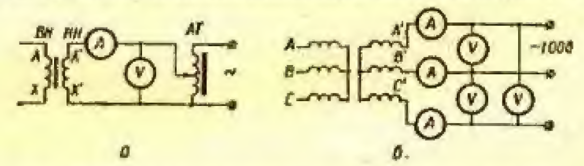


Рис. XI.1. Схемы измерения тока холостого хода ТН:
а — однофазный ТН; *б* — трехфазный ТН.

ков крайних фаз. Подводимое напряжение определяют как среднее арифметическое трех измеренных линейных напряжений. Величина тока холостого хода не нормируется.

При измерениях необходимо учитывать, что у однофазных ТН, у которых второй вывод первичной обмотки заземляется, номинальное напряжение основной вторичной обмотки составляет $100/\sqrt{3}$ *в*, а дополнительной — 100 *в* или 100/3 *в*. При измерении тока холостого хода следует надежно заземлить корпус, вторичную обмотку, а также первичную обмотку, имеющую вывод с ослабленной изоляцией, присоединяемый к земле (у ТН типа НКФ, ЗОМ, ЗНОМ).

Для ТН, у которых обмотка высокого напряжения имеет вывод с ослабленной изоляцией, недопустимо включение под напряжение или подъем напряжения ТН без надежного присоединения к земле вывода с ослабленной изоляцией.

При измерении тока холостого хода ТН свыше 35 *кв* необходимо применять регулирующие устройства большой мощности, так как величина тока холостого хода трансформаторов напряжения типа НКФ-110 достигает 10 *а*, а НКФ-220 — 25 *а*. Измерения следует проводить достаточно быстро, так как вторичные обмотки не рассчитаны на длительное протекание больших токов.

Измерение коэффициента трансформации ТН

Коэффициент трансформации ТН измеряют по схемам, приведенным на рис. XI.2. Отклонение измеренного коэффициента трансформации от паспортного не нормируется. Для ТН с номинальным напряжением до 10 *кв* коэффициент трансформации определяют при подведении к обмотке высокого напряжения контролируемого вольтметром напряжения 220 или 380 *в*. К выводам вторичной обмотки подключается вольтметр с соответствующими пределами измерений. Коэффициент трансформации определяется как отношение показаний вольтметров.

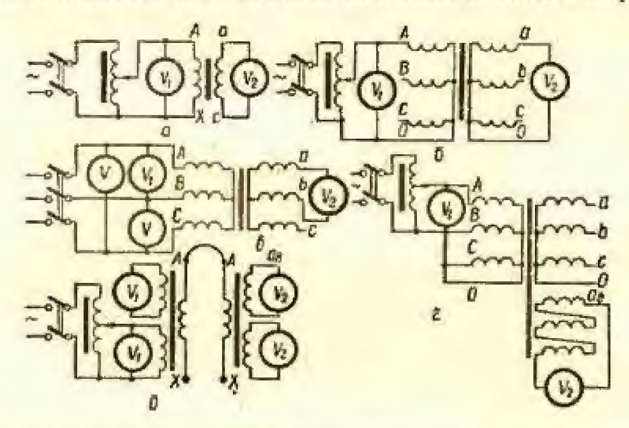


Рис. XI.2. Схемы измерения коэффициента трансформации ТН:

а — однофазного; *б* — трехфазного с нулевым выводом; *в* — трехфазного без нулевого вывода; *г* — дополнительной обмотки пятистержневого ТН; *д* — методом сравнения.

Для нахождения коэффициента трансформации трехфазных ТН к первичным обмоткам подводится симметричное трехфазное напряжение 380 *в*. Напряжение измеряют между каждой парой одноименных выводов обмоток высокого и низкого напряжений. Для трехфазных ТН с обмотками, имеющими нулевой вывод, коэффициент трансформации определяют так же, как и для однофазных трансформаторов. У пятистержневых ТН нахождение коэффициента трансформации обмотки высокого напряжения и обмотки низкого напряжения, соединенной в звезду, не отличается от тех же действий с трехфазным двухобмоточным трансформатором.

При определении коэффициента трансформации дополнительной обмотки (выводы $a_д$ и $x_д$), соединенной в разомкнутый треугольник, напряжение подают на одну из фаз первичной обмотки при закороченных обмотках двух других фаз. Коэффициент трансформации определяется отношением напряжения на первичной обмотке к измеренному напряжению на выводах дополнительной обмотки ($a_д - x_д$).

Для ТН 35 *кв* и выше коэффициент трансформации определяют методом сравнения. Обмотки высокого напряжения двух испытуемых однофазных трансформаторов напряжения соединяются параллельно, ко вторичной обмотке одного из них подводится напряжение. При равенстве коэффициентов трансформации напряжения, измеренные на вторичных обмотках обоих трансформаторов напряжения, совпадают по величине.

При определении коэффициента трансформации следует надежно заземлять обмотки и корпус испытуемого трансформатора напряжения.

Определение полярности обмоток трансформаторов напряжения

ГОСТом 1983-67 для трансформаторов напряжения предусмотрена схема соединения обмоток по группе 0; зажимы обозначены так же, как у силовых трансформаторов.

Методика определения полярности обмоток приведена в гл. III. Определение полярности выводов обмоток ТН производится по схемам рис. XI.3. При подключении «+» батареи и «+» прибора к однополярным зажимам обмоток однофазного ТН в момент замыкания цепи батареи стрелка прибора отклоняется вправо.

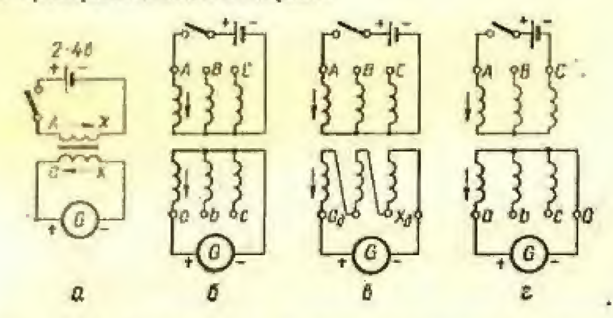


Рис. XI.3. Схемы проверки полярности и правильности обозначения выводов ТН:

а — однофазного трансформатора; *б* и *в* — пятистержневого трехфазного трансформатора; *г* — трехфазного двухобмоточного трехстержневого трансформатора.

При проверке полярности соединенных в звезду обмоток пятистержневого трансформатора при подключении «+» батареи и «+» прибора к выводам одноименных фаз в случае правильной полярности стрелка прибора отклоняется вправо (при замыкании цепи). При переключении прибора на другие фазы стрелка будет отклоняться влево и на меньшее число делений. Таким методом могут быть определены полярности выводов обмоток одноименных фаз.

Если обмотки соединены по схеме разомкнутого треугольника, то полярность выводов определяют поочередным подключением «+» батареи ко всем трем выводам первичной обмотки; при правильной полярности стрелка прибора будет отклоняться вправо.

При проверке полярности обмоток трехфазного ТН, не имеющего выведенной нулевой точки обмотки высокого напряжения, батарею подключают к выводам *AB* первичной обмотки; «+» прибора подключается поочередно к выводам *a*, *b*, *c* вторичной обмотки («—» прибора подключают к нулевому выводу вторичной обмотки). При правильной полярности и подключении прибора к выводу *a* стрелка его отклоняется вправо,

при подключении к выводу c — влево, при подключении к выводу b — незначительное отклонение в любую сторону. Такие испытания проводят три раза при подключении батареи к выводам A и B, B и C, C и A, при этом «+» батареи подключают к выводам A, B, C.

Снятие характеристик намагничивания трансформаторов тока

Характеристики намагничивания снимаются для проверки исправности ТТ. При этом убеждаются в том, что нет замкнутых накоротко витков и повреждений сердечника, оценивают возможности использования его в схеме релейной защиты в конкретных условиях.

Рис. XI.4. Схемы снятия характеристики намагничивания (вольтамперной характеристики):

а — с реостатом R; *б* — с АТ; *в* — с двумя АТ типа ЛАТР-2. (A — амперметр типа Э59 на 0—2, 5—5 *а*; R — реостат на 30 *ом*, 5 *а*; для схем *а* и *б* — используется вольтметр типа Э59 на 0—150—300 *в*, для схемы *в* — вольтметр типа Э59 на 0—600 *в*).

Характеристика намагничивания представляет собой зависимость подводимого ко вторичной обмотке напряжения U_2 от тока намагничивания $I_{нам}$, т. е. $U_2 = f\ (I_{нам})$. Схемы снятия характеристики намагничивания приведены на рис. XI.4. Особое значение имеет способ регулирования напряжения. От него зависит степень искажения формы кривой тока намагничивания и подводимого напряжения. Предпочтение следует отдавать схеме с регулирующим автотрансформатором типа РНО, при которой форма кривой напряжения близка к синусоидальной.

Для сравнения характеристик однотипных ТТ их следует снимать одинаковыми приборами по одной и той же схеме. Характеристика снимается при разомкнутой первичной обмотке и отсоединенных от вторичной обмотки вторичных цепях и защитном заземлении. При наличии у обмоток ответвлений характеристика снимается на рабочем ответвлении. Снятие характеристики проводится до номинального тока, если для этого не требуется напряжение выше 380 *в*. Для ТТ, предназначенных для питания устройств релейной защиты, автоматических аварийных осциллографов, фиксирующих приборов и т. п., когда необходима проверка расчетов погрешностей, токов небаланса и допустимой нагрузки применительно к условиям протекания сверхтоков, снятие характеристики проводится выше номинального тока — до начала области насыщения (перегиба характеристики) или до тока намагничивания

$$I_{нам} = \frac{0,1 I_{к.з\ макс}}{\eta_T} \qquad (XI.1)$$

где $I_{к.з.макс}$ — расчетная величина максимального тока короткого замыкания в цепи испытуемого ТТ; $\eta_т$ — коэффициент трансформации испытуемого ТТ.

Во многих случаях для снятия характеристики намагничивания необходимо напряжение выше 380 *в*. Схема рис. XI.4, *в* позволяет получить напряжение до 500 *в*. При необходимости более высокие напряжения можно получить с помощью повысительных трансформаторов. Повышенные напряжения можно получить также методом, основанным на явлении феррорезонанса. Для этого последовательно со вторичной обмоткой ТТ включают один или несколько конденсаторов (рис. XI.5). В зависимости от емкости последовательно включенного конденсатора напряжение на вторичной обмотке ТТ может превысить напряжение сети в два—восемь раз. Если при снятии характеристики требуется подача повышенных напряжений, то при испытании необходимо соблюдение правил техники безопасности, соответствующих этим напряжениям.

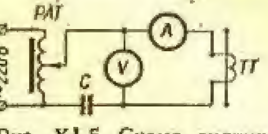


Рис. XI.5. Схема снятия характеристики намагничивания с использованием явления феррорезонанса.

Исправность ТТ оценивается путем сопоставления снятой характеристики с типовой характеристикой намагничивания для данного типа ТТ или с характеристиками однотипных исправных ТТ. Примеры характеристик намагничивания различных типов ТТ приведены на рис. XI.6. Для сравнения снятой характеристики с типовой необходимо снятую характеристику $U_2 = f\ (I_{нам})$ привести к характеристике $E_2 = f\ (I_{ном})$ вычитанием из ее ординат U_2 величины падения напряжения во вторичной обмотке $\Delta U = I_{нам}\ z_2$ (z_2 — сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока).

Рис. XI.6. Характеристики намагничивания ТТ разных типов.

Пригодность ТТ для работы в простых схемах защит может быть оценена по снятой характеристике намагничивания сравнением величины напряжения по характеристике с величиной напряжения на выводах ТТ, необходимого для срабатывания защиты. Последняя определяется по измеренной нагрузке на ТТ и принятому току срабатывания защиты и не должна превышать величину напряжения по характеристике намагничивания при токе, равном току срабатывания защиты.

У каскадных ТТ при приемо-сдаточных испытаниях характеристики намагничивания снимаются отдельно для верхней ступени и каждого ТТ нижней ступени. При эксплуатационных испытаниях достаточно снимать характеристики намагничивания только для нижней ступени, так как при неисправности ТТ верхней ступени изменяются

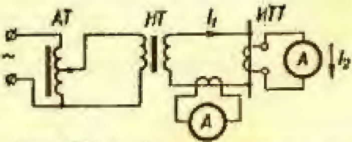


Рис. XI.7. Схема проверки коэффициента трансформации ТТ:

НТ — нагрузочный трансформатор; *ИТТ* — испытуемый ТТ.

характеристики намагничивания всех вторичных обмоток нижней ступени.

В некоторых случаях характеристики намагничивания ТТ можно снимать пропусканием тока через первичную обмотку от нагрузочного трансформатора и измерением напряжения на выводах вторичной обмотки высокоомным вольтметром (рис. XI.7) с включением во вторичную обмотку вместо амперметра вольтметра.

Определение коэффициента трансформации трансформаторов тока

Коэффициент трансформации определяют по схеме, приведенной на рис. XI.7. Коэффициент трансформации испытуемого трансформатора определяется из выражения

$$n_т = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_{лт} I_{из}}{I_2}. \quad (XI.2)$$

где $n_{лт}$ — коэффициент трансформации лабораторного ТТ; $I_{из}$ — ток вторичной обмотки лабораторного ТТ.

Отклонение найденного коэффициента трансформации от паспортного не нормируется.

При проверке коэффициента трансформации в качестве нагрузочного трансформатора можно использовать ТТ соседних фаз.

У встроенных ТТ коэффициент трансформации проверяется на всех ответвлениях. В тех случаях, когда нет маркировки отпаек, перед определением коэффициента трансформации необходимо восстановить маркировку. Наиболее распространенный способ маркировки отпаек — измерение между ними распределения напряжения (рис. XI.8). Напряжение подается на два любых вывода, и вольтметром определяются выводы, между которыми величина напряжения наибольшая. Максимальная величина напряжения соответствует крайним выводам *А* и *Д*.



Рис. XI.8. Схема определения отпаек встроенных ТТ.

Затем проверяют соответствие полярности надписям «верх» и «низ» на сердечнике и определяют вывод *А*. Далее на крайние выводы вновь подается напряжение, и измерением напряжения между выводом *А* и остальными определяют маркировку ответвлений.

При испытании встроенного ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации на крайних ступенях (*А — Б* и *Г — Д*) маркировку крайних выводов можно определить по распределению напряжений между выводами. У ТТ такого типа напряжение на выводах первой ступени меньше, чем на выводах последней ступени (на первой ступени число витков меньше, что обусловлено необходимостью компенсации токовой погрешности при малых первичных токах).

Измерение коэффициента трансформации целесообразно совмещать с проверкой токовых цепей первичным током.

Определение полярности обмоток трансформаторов тока

Маркировка зажимов ТТ должна выполняться в соответствии с табл. XI.3 (ГОСТ 7746-68).

Методика проверки полярности приведена в гл. III. Полярность обмоток ТТ проверяют по схеме, приведенной на рис. XI.9. При присоединении однополярных зажимов первичной и вторичной обмоток ($Л_1$ и $И_1$ или $Л_2$ и $И_2$) к «+» батареи и к «+» прибора в момент замыкания цепи батареи стрелка прибора должна отклониться вправо.

Рис. XI.9. Схема проверки полярности обмоток ТТ.

При проверке полярности встроенных ТТ (до их установки в выключатель или силовой трансформатор) в качестве первичной обмотки используют проводник, продеваемый через сердечник и подключаемый к батарее. К «+» батареи присоединяют конец проводника, который находится со стороны трансформатора тока, имеющей надпись «верх», «+» прибора присоединяют к выводу *А* вторичной обмотки. При правильной маркировке в момент замыкания цепи батареи стрелка прибора отклонится вправо.

Таблица XI.3

Маркировка зажимов трансформаторов тока

Первичная обмотка	Первичная обмотка с одной секцией $Л_1$ — $Л_2$	$Л_1$ — $К_1$ $Л_2$ — $К_2$ $Н_1$ — $Л_2$ Первичная обмотка с несколькими секциями
Вторичная обмотка	Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой $И_1$ — $И_2$ Вторичная обмотка без ответвлений	$И_1$ — $И_2$ — $И_i$ Вторичная обмотка с ответвлениями
	Трансформатор тока с несколькими вторичными обмотками $И_1$ — $И_2$ | $И_1$ — $И_2$	$И_1$ — $И_2$

Буквы наносят так, чтобы при направлении тока в первичной обмотке от $Л_1$, $Н_i$ к $К_i$, $Л_2$ вторичный ток проходил по внешней цепи (по приборам) от $И_1$ к $И_2$, $И_i$.

Проверка вторичных цепей трансформаторов напряжения

Помимо испытаний, общих для всех цепей вторичной коммутации, при приемо-сдаточных испытаниях проводят проверку вторичных цепей ТН в следующем объеме.

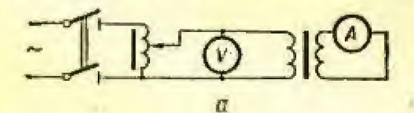
1. Определение нагрузки на ТН и потери напряжения во вторичных цепях.
2. Определение тока короткого замыкания во вторичных цепях и проверка автоматов (предохранителей).
3. Проверка исправности заземляющих пробивных предохранителей.
4. Проверка конденсатора, шунтирующего один из полюсов автомата.
5. Проверка рабочим напряжением схем соединения ТН и их вторичных цепей.
6. Проверка фазировки ТН.

Для определения потери напряжения и токов короткого замыкания во вторичных цепях измеряют сопротивления короткого замыкания ТН и проводов вторичных цепей. Нагрузку на ТН измеряют амперметром, включаемым последовательно с измеряемой нагрузкой. Сопротивление проводов и кабелей определяют методами моста или амперметра-вольтметра. Надежность работы автоматов или предохранителей проверяют, включив трансформатор напряжения на перемычку, установленную в наиболее удаленной от трансформатора напряжения точке вторичных цепей. Допускается также расчетная проверка по результатам измерения сопротивления трансформатора и вторичных цепей.

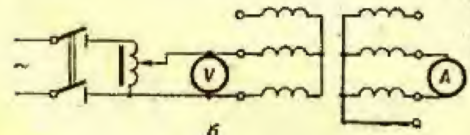
Исправность пробивных предохранителей проверяется мегомметром 500 *в* или напряжением переменного тока 500—600 *в* от постороннего источника. Исправность конденсатора, шунтирующего полюс автомата, проверяется напряжением переменного тока 220 *в*. Если емкость конденсатора не обозначена, ее измеряют. Нормальная величина емкости — 12—14 *мкф* на каждые 100 *ва* мощности трансформатора в используемом классе точности.

Определение сопротивления короткого замыкания трансформаторов напряжения

Сопротивления короткого замыкания измеряют по схемам, приведенным на рис. XI.10. Напряжение U_1 на первичной обмотке плавно увеличивается до установления во вторичной обмотке величины тока I_2,



а



б

Рис. XI.10. Определение сопротивления короткого замыкания трансформатора напряжения:
а — однофазного;
б — трехфазного.

близкой к номинальной. Сопротивление короткого замыкания однофазного ТН определяется из выражения

$$Z_{к.з} = \frac{U_1}{I_2 n_н}, \qquad (XI.3)$$

где $n_н$ — коэффициент трансформации ТН.

Сопротивление трехфазного ТН определяется из выражения

$$Z_{к.з} = \frac{U_1}{2I_2 n_н}. \qquad (XI.4)$$

Для трехфазного трансформатора $Z_{к.з}$ определяется как среднее значение из трех измерений при поочередном замыкании накоротко каждой пары фаз вторичных обмоток при подаче напряжения U_1 на одноименные фазы первичной обмотки.

Проверка рабочим напряжением схем соединения трансформаторов напряжения и их вторичных цепей

На ближайшей к ТН сборке зажимов измеряют все фазные и междуфазные напряжения, а также напряжение небаланса $3U_0$ дополнительной обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник. Если фазные и линейные напряжения симметричны и напряжение небаланса на дополнительной обмотке — порядка нескольких вольт, то в схеме нет неправильно включенных (перевернутых по полярности) обмоток трансформатора напряжения.

Согласно ГОСТу 1983-67, при симметрии первичных фазных напряжений и нагрузке дополнительных вторичных обмоток, соответствующей классу точности 3, напряжение на зажимах разомкнутого треугольника не должно превышать 3% номинального напряжения.

В некоторых случаях из-за неодинаковой емкости фаз сборных шин (присоединения отключены от шин) замечается повышенная величина напряжения небаланса (до нескольких десятков вольт).

Схему вторичных цепей проверяют путем измерения фазных, линейных напряжений и напряжения небаланса $3U_0$ на каждом приборе и аппарате, к которому подведены эти напряжения.

Правильность маркировки фаз напряжения может быть проверена фазоуказателем или вольтметром.

Если проверка осуществляется вольтметром, сравнивают поочередно напряжения всех фаз на зажимах проверяемой панели с заведомо известными напряжениями того же источника напряжения.

При проверке маркировки фаз фазоуказателем одна из фаз вторичных цепей напряжения должна быть заземлена (обычно в схемах принято заземление фазы *b*). Если в схеме заземлена нулевая точка, то на время проверки заземление следует перенести на фазу *b*.

В протяженных цепях дополнительной обмотки ТН посторонние магнитные поля могут наводить напряжение, соизмеримое по величине с напряжением небаланса. Поэтому последнее измеряют вольтметром с внутренним сопротивлением не более 200 *ом*. Вместо вольтметра может быть использован миллиамперметр с добавочным сопротивлением. При измерениях напряжения небаланса $3U_0$ высокоомным вольтметром он может давать показания даже при оборванной цепи.

Правильность маркировки фаз можно просто и безошибочно проверить пофазным отключением обмоток трансформатора напряжения со стороны высокого напряжения (при наличии предохранителей или

однофазных разъединителей в первичной цепи трансформатора напряжения). При этом на отключенной фазе вторичное напряжение исчезает или понижается. Можно также отключать пофазно вторичные цепи непосредственно на выводах низкого напряжения трансформатора.

Фазировка трансформаторов напряжения

Методика фазировки трансформаторов напряжения не отличается от методики фазировки силовых трансформаторов, рассмотренной в гл. IX. В цепях разомкнутого треугольника проверяется положение вектора $3U_0$ относительно векторов напряжений основных обмоток. Напряжение $3U_0$ создается искусственно исключением непосредственно на выводах трансформаторов напряжения одной фазы дополнительной обмотки. Проверяют также правильность вывода испытательной жилы, если таковая есть. Для определения положения вектора $3U_0$ измеряют напряжения на выводах дополнительной обмотки по отношению к земле и напряжениям фаз обмотки, соединенной в звезду. По результатам измерений строят векторную диаграмму напряжений. Для этого строят диаграмму фазных напряжений обмотки, соединенной в звезду. Заземленные точки обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, совмещают. Из концов векторов фазных напряжений проводятся дуги радиусами, равными измеренным напряжениям между выводом дополнительной обмотки и соответствующей фазой обмотки, соединенной в звезду.

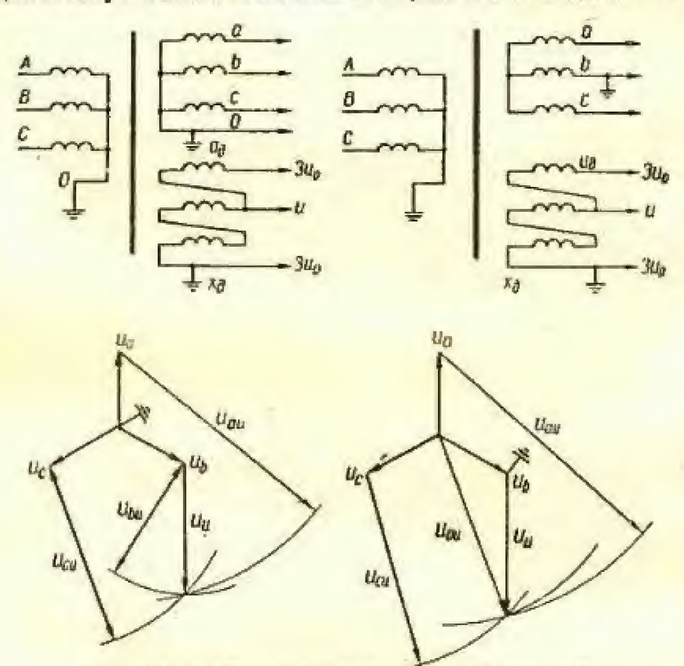


Рис. XI.11. Векторные диаграммы напряжений.

Точка пересечения трех дуг является концом вектора $3U_0$. Построение векторной диаграммы приведено на рис. XI.11. Шкала вольтметра должна быть рассчитана на двойное линейное напряжение.

Вектор $3U_0$ должен находиться в противофазе к вектору напряжения фазы, исключенной из разомкнутого треугольника. Проще всего направление вектора $3U_0$ определить прибором ВАФ-85.

Для трехфазного трансформатора напряжения $3U_0$ можно создать искусственно, путем отключения одной из фаз первичной обмотки с заземлением ее вывода.

Проверка вторичных цепей трансформаторов тока

Помимо испытаний, общих для всех цепей вторичной коммутации, при приемо-сдаточных испытаниях проводят проверку вторичных цепей ТТ в следующем объеме.

1. Проверка схемы соединения вторичных обмоток и вторичных цепей.
2. Измерение и расчетное определение нагрузки вторичных обмоток.
3. Проверка схемы токовых цепей первичным током нагрузки.

Основной особенностью работы ТТ является независимость величины первичного тока от вторичной нагрузки. В отличие от силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения, работа ТТ с разомкнутой вторичной обмоткой недопустима: в таком режиме исчезает размагничивающее действие вторичного тока, весь первичный ток становится током намагничивания, что приводит к многократному увеличению магнитного потока в сердечнике трансформатора тока и э. д. с. на вторичной обмотке. Величина э. д. с. может достигать нескольких киловольт, что представляет опасность для изоляции трансформатора тока и его вторичных цепей, а также для обслуживающего персонала.

Резкое возрастание магнитного потока приводит также к недопустимому перегреву сердечника, что может повлечь возгорание изоляции и разрушение ТТ. Для предотвращения повреждений ТТ и для безопасности персонала всякие переключения и другие работы в токовых цепях ТТ, первичные обмотки которых обтекаются током, выполняют без разрыва цепей вторичных обмоток. Все неиспользуемые вторичные обмотки ТТ нужно замкнуть накоротко. Особое внимание следует обращать на надежность контактных соединений в токовых цепях. Вторичная цепь ТТ должна заземляться только в одной точке.

Проверка схемы соединения вторичных обмоток и вторичных цепей трансформаторов тока

Такая проверка может быть выполнена при питании схемы от постороннего источника тока.

Схемы проверки соединения токовых цепей при питании от постороннего источника тока приведены в табл. XI.4.

Метод проверки заключается в следующем. В зависимости от схемы соединений вторичных обмоток первичные обмотки ТТ соединяют временными перемычками, как указано в табл. XI.4; полностью собирают схемы соединений всех вторичных обмоток, включая установку заземлений во вторичных цепях. От нагрузочного устройства в первичные обмотки подают ток; измеряют величину тока во всех вторичных цепях. По

Таблица XI.4

Проверка схем соединения токовых цепей при питании от постороннего источника тока

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_T}$ $I_0 = 3\frac{I_1}{n_T}$		Правильно собрана схема звезды
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{n_T}$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = I_0 = 0$		Оборван нулевой провод
	$I_{A'} = I_{B'} = \frac{I_1}{n_т}$ $I_{C'} = 0$ $I_0 = 2\frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза C
	$I = \frac{I_1}{n_т}$		ТТ соединены правильно (последовательно)
	$I = 0$		Изменена полярность одного ТТ или оборвана вторичная цепь
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$ $I_0 = 2\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема неполной звезды

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$ $I_0 = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = I_{B'} = I_C = 0$		Оборван нулевой провод
	$I_{A'} = I_0 = \frac{I_1}{n_т}$ $I_{C'} = 0$		Оборвана фаза C
	$I_{A'} = I_{C'} + I_0 = \frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы С
	$I' = I'' = \frac{I_1}{n_т}$ $I = I' + I'' = 2\frac{I_1}{n_т}$		ТТ включены параллельно
	$I' = 0$ $I'' = I = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана цепь I'
	$I' = I'' = \frac{I_1}{n_т}$ $I = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I' = I'' = I = 0$		Оборвана цепь нагрузки

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = 2I_{B'} = 2I_{C'} = 2\frac{I_1}{n_т}$; $I_B = I_C = \frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема треугольника
	$I_{A'} = 0$; $I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность ТТ фазы *B*
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = 0$		Оборвана фаза *A*
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{B'} = 0$		Оборвана цепь ТТ фазы *B*
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{1}{2} I_{B'}$; $I_{B'} = \frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы *A*
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'C'} = 2\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема на разность токов
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'C'} = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = 0$; $I_{C'} = I_{A'C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза *A*

Продолжение табл. XI.4

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = I_{C'} = I_{A'C'} = 0$		Оборвана цепь нагрузки
	$I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{C'} = I_{A'} + I_{A'C'}$		Закорочен ТТ фазы *A*

результатам измерений вторичных токов судят о правильности соединений токовых цепей.

Особенность приведенных в табл. XI.4 испытательных схем состоит в том, что при правильном соединении ТТ во всех вторичных цепях, к которым подключены реле или измерительные приборы, при испытании ток не равен нулю; этим одновременно проверяют отсутствие обрывов цепей.

Если необходимо изменить рекомендуемые схемы проверки, новые схемы следует составлять так, чтобы во всех вторичных цепях ток не был равен нулю.

Измерение и расчетное определение нагрузки вторичных обмоток трансформаторов тока

Схемы измерения и расчетные формулы для наиболее часто встречающихся схем соединения приведены в табл. XI.5.

Проверка схемы токовых цепей первичным током нагрузки

Схемы измерения приведены в табл. XI.6.

Для проверки целости нулевого провода в схеме полной звезды при симметричной нагрузке измеряют ток небаланса в нулевом проводе. При очень малых величинах тока небаланса, не поддающихся измерению, для проверки целости нулевого провода исключают из схемы ТТ одну из фаз, искусственно создавая тем самым ток в нулевом проводе.

Построение векторных диаграмм

В практике наладочных работ векторные диаграммы строят для того, чтобы убедиться в правильности включения токовых цепей и цепей напряжения релейных защит (дифференциальных, направленных и др.), измерительных приборов (ваттметров, счетчиков, фазометров), регуляторов напряжения и др.

Как известно, синусоидальные токи и напряжения могут быть представлены в виде векторов, определенным образом ориентированных на

Таблица XI.5

Определение сопротивления нагрузки по данным измерения

Схема	Измеряемые величины	Формула для определения сопротивления
	I; $U_{A'B'}$; $U_{B'C'}$; $U_{C'A'}$	$Z_A = \frac{U_{A'B'} - U_{B'C'} + U_{C'A'}}{2I}$ $Z_B = \frac{U_{B'C'} - U_{C'A'} + U_{A'B'}}{2I}$ $Z_C = \frac{U_{C'A'} - U_{A'B'} + U_{B'C'}}{2I}$
	I; $U_{A'0}$; $U_{B'0}$; $U_{C'0}$	$Z_{A0} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{B0} = \frac{U_{B'0}}{I}$ $Z_{C0} = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$; $U_{C'0}$; $U_{A'0}$	$Z_A = \frac{U_{A'C'} - U_{C'0} + U_{A'0}}{2I}$ $Z_C = \frac{U_{A'C'} - U_{A'0} + U_{C'0}}{2I}$ $Z_0 = \frac{U_{A'0} + U_{C'0} - U_{A'C'}}{2I}$ $Z_{AC} = \frac{U_{A'C'}}{I}$; $Z_{A0} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{C0} = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$	$Z_{AC} = \frac{U_{A'C'}}{I}$

Таблица XI.6

Проверка правильности сборки токовых цепей током нагрузки

Схемы проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_0 = 0$		Правильно собрана схема звезды
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_0 = 2\frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность ТТ фазы A
	$I_{A'} = 0$; $I_{B'} = I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза A
	$I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'} = I_0 \approx \frac{1}{2}\frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы A
	$I_{A'} = I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема неполной звезды
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_0 = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность ТТ фазы A
	$I_{A'} = 0$; $I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза A

Схемы проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'} = I_0 = \frac{1}{2}\frac{I_1}{n_т}$ $I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы *А*
	$I_{A'} = I_{C'} = I_0 = 0$	—	Оборван нулевой провод
	$I_{A'B'} = I_{B'C'} = I_{C'A'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема треугольника
	$I_{B'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'B'} = I_{C'A'} = \frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность ТТ фазы *А*
	$I_{A'B'} = I_{C'A'} = \frac{\sqrt{3}I_1}{2n_т}$ $I_{B'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы *А*

Схемы проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'B'} = I_{C'A'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{B'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза *А*
	$I_{A'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема на разность токов
	$I_{A'C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность трансформатора тока (фаза *А*)
	$I_{A'C'} \approx 0$	—	Закорочен трансформатор тока
	$I_{A'C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана цепь трансформатора тока (фаза *А*)
	$I_{A'C'} = 0$	—	Оборвана цепь реле

плоскости. На рис. XI.12 представлена наиболее часто встречающаяся векторная диаграмма фазных и линейных напряжений и фазных токов трехфазной линии с активно-индуктивной нагрузкой.

По векторной диаграмме вторичных напряжений и токов можно окончательно судить о правильности выполнения цепей вторичной коммутации с учетом включения измерительных и промежуточных трансформаторов и других элементов схемы. Для построения векторной диаграммы прежде всего необходимо знать углы между векторами токов и напряжений. Их определяют с помощью однофазного фазометра, вольтамперфазоиндикатора типа ВАФ-85, однофазного ваттметра или другого подобного прибора.

Обязательным условием при снятии векторных диаграмм является синхронность подводимых к прибору токов и напряжений.

При снятии векторных диаграмм направленных защит и приборов необходимо, чтобы было известно направление активной и реактивной мощности в первичных цепях по заведомо правильно включенным приборам или, при отсутствии таковых, путем создания режимов работы, при которых направление мощностей может быть однозначным.

Рис. XI.12. Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений и фазных токов.

Как правило, в качестве опорных векторов используется симметричная трехфазная система векторов напряжений (фазных или линейных) и по отношению к ним определяются углы векторов тока.

Таким образом, на первом этапе снятия векторной диаграммы необходимо проверить напряжения, т. е. измерить величины фазных и линейных напряжений, определить зажимы, к которым подведены напряжения фаз *A*, *B* и *C*, и определить чередование фаз.

Для определения взаимного расположения векторов тока (например, в схемах дифференциальных защит) при снятии векторной диаграммы можно использовать любые напряжения, синхронные с этими токами.

Затем векторы напряжений (например, фазных) в произвольном масштабе наносят для удобства построения на миллиметровую бумагу под углом 120° друг к другу (рис. XI.13). После этого определяют углы одним из приведенных ниже методов

Применение однофазного фазометра

Напряжение фазы *A* подают на обмотку напряжения фазометра так, чтобы фазовый провод был присоединен к зажиму прибора, отмеченному звездочкой.

Токовую обмотку фазометра включают последовательно с токовой обмоткой прибора или реле, схему включения которого проверяют так, чтобы провод, подключенный до проверки к началу токовой обмотки фазы *A* прибора или реле, был присоединен к началу токовой обмотки фазометра.

Для определения симметрии токов по фазам последовательно с токовой обмоткой фазометра включают амперметр. На диаграмме откладывают вектор тока, величина которого пропорциональна показаниям амперметра. Угол между векторами тока и напряжения определяется по показаниям фазометра (рис. XI.13).

Рис. XI.13. Векторная диаграмма, построенная с помощью фазометра.

После этого токовые обмотки фазометра и амперметра переключают с соблюдением того же порядка подключения проводов последовательно в фазы *B* и *C* и строят векторы токов этих фаз; углы во всех случаях отсчитывают от вектора напряжения фазы *A*.

Вместо напряжения фазы *A* к обмотке напряжения фазометра можно подвести линейное напряжение *AB* (фаза *A* подключается к выводу

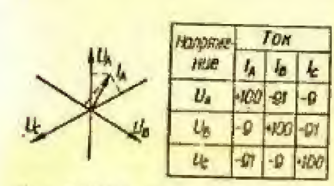
обмотки, отмеченному звездочкой); в этом случае отсчет углов ведется от вектора напряжения *AB*.

Аналогично определяют углы между векторами токов и других напряжений, подаваемых на обмотку напряжения фазометра.

Применение однофазного ваттметра

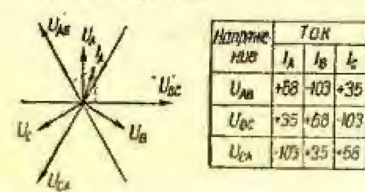
Токовую обмотку ваттметра включают последовательно с обмоткой поверяемого прибора или реле таким образом, чтобы провод, подходящий к началу обмотки прибора, был соединен с концом токовой обмотки ваттметра (начало обмотки ваттметра отмечается звездочкой или знаком «+»).

К ваттметру поочередно подводят все три фазовых напряжения: U_A, U_B и U_C. При этом к началу обмотки напряжения ваттметра подсоединяют фазовые провода, а к концу — нулевой провод.



Напряжение	Ток		
	I_A	I_B	I_C
U_A	+100	-91	-9
U_B	-9	+100	-91
U_C	-91	-9	+100

Рис. XI.14. Векторная диаграмма, построенная с помощью однофазного ваттметра.



Напряжение	Ток		
	I_A	I_B	I_C
U_{AB}	+68	-103	+35
U_{BC}	+35	+68	-103
U_{CA}	-105	+35	+66

Рис. XI.15. Векторная диаграмма, построенная с помощью однофазного ваттметра. (В качестве «опорных» использованы междуфазные напряжения).

Показания ваттметра пропорциональны подводимым к нему напряжению и току, а также косинусу угла между ними:

$$\left.\begin{aligned} W_1 &= U_A I \cos(\widehat{U_A I}) \\ W_2 &= U_B I \cos(\widehat{U_B I}) \\ W_3 &= U_C I \cos(\widehat{U_C I}) \end{aligned}\right\}, \qquad \text{(XI.5)}$$

где I — ток, протекающий по токовой обмотке ваттметра; $(\widehat{U_A I})$, $(\widehat{U_B I})$, $(\widehat{U_C I})$ — углы между векторами напряжений U_A, U_B и U_C и вектором тока I; если угол между векторами тока и напряжения лежит в пределах 90°—270°, косинус угла и показания ваттметра будут иметь отрицательные значения.

Произведения $I\cos(\widehat{U_A I})$, $I\cos(\widehat{U_B I})$ и $I\cos(\widehat{U_C I})$ представляют собой проекции вектора тока I соответственно на векторы напряжения U_A, U_B и U_C, и, следовательно, показания ваттметра пропорциональны величине этих проекций.

Если на линиях векторов напряжений U_A, U_B и U_C отложить в выбранном масштабе измеренные мощности W_1, W_2 и W_3 с учетом их знаков и восстановить из концов этих отрезков перпендикуляры, то все они

пересекутся в точке, в которой находится конец вектора тока I. Таким образом, по показаниям ваттметра можно определить положение вектора тока на плоскости. Для удобства показания ваттметра записывают в таблицу (рис. XI.14).

Алгебраическая сумма трех показаний ваттметра должна быть равна нулю (алгебраическая сумма проекций вектора на три оси координат, сдвинутые друг относительно друга на 120°).

Аналогично определяют положение на плоскости векторов токов двух других фаз после соответствующего поочередного переключения токовой обмотки ваттметра в эти фазы.

При снятии векторных диаграмм обычно используют линейные напряжения (рис. XI.15), величина которых соответствует номинальному напряжению обмотки ваттметра.

Применение прибора ВАФ-85

Векторные диаграммы удобно снимать вольтамперфазоиндикатором ВАФ-85. В отличие от предыдущих методов, этим прибором можно определять углы не только между векторами тока и напряжения, но и между двумя векторами напряжения. Краткое описание прибора и методики измерений приведены в гл. II.

Для снятия векторной диаграммы токов или напряжений к зажимам прибора *A*, *B*, *C* подводится трехфазное напряжение 110 или 220 *в*. Отжимают от лимба тормозящий его рычаг; освобожденный лимб должен вращаться по часовой стрелке. При обратном направлении вращения переключают две фазы напряжений, подведенных к зажимам *A*, *B*, *C* прибора. Лимб затормаживается резиновым рычагом. При снятии векторной диаграммы токов клещевая приставка одевается на провод с измеряемым током так, чтобы сторона приставки, отмеченная звездочкой, была обращена к генераторному концу провода с измеряемым током. Вилка приставки вставляется в гнезда прибора с соблюдением обозначенной на них полярности. Левый тумблер должен находиться в положении «*IU*», правый устанавливают в положении «величина», при этом измеряется величина тока. Далее тумблер переключается в положение «фаза». Вращением лимба добиваются нулевого показания прибора. Величина измеряемого угла определяется по делению лимба, совпавшему с чертой 110 или 220 *в* (в зависимости от величины напряжения, подведенного к зажимам *A*, *B*, *C* прибора). Угол будет измерен правильно только в том случае, если направление вращения лимба совпадает с направлением движения стрелки прибора к нулю. Измеренный угол соответствует углу между вектором измеряемого тока и вектором напряжения, подведенного к зажимам *A* и *B* прибора.

При снятии векторной диаграммы напряжений к зажиму прибора, отмеченному звездочкой, присоединяется провод, соответствующий принятому началу вектора напряжения. Порядок снятия диаграммы тот же. Отсчет угла и в этом случае производится по отношению к вектору напряжения, подведенного к зажимам *A*, *B* прибора.

Глава XII

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПРИВОДЫ К НИМ

Основные технические требования и методы испытаний выключателей переменного тока напряжением от 3 до 220 *кв* включительно определены в ГОСТе 687-67. Основные технические требования и методы испытаний приводов выключателей содержатся в ГОСТе 688-67.

Объем приемо-сдаточных испытаний масляных выключателей

Все вновь вводимые в эксплуатацию масляные выключатели должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям согласно ПУЭ в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции подвижных и направляющих частей из органических материалов.
2. Испытание вводов.
3. Оценка состояния внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств (для баковых выключателей 35 *кв*).
4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции выключателя.
5. Измерение сопротивления постоянному току контактов выключателя, включающих и отключающих катушек привода.
6. Измерение скорости включения и отключения выключателя.
7. Проверка времени действия подвижных частей выключателя.
8. Проверка действия механизма свободного расцепления.
9. Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении.
10. Испытание выключателя многократными включениями и отключениями.
11. Испытание трансформаторного масла из бака выключателя для баковых выключателей на всех напряжениях и малообъемных выключателей на напряжение 110 *кв* и выше.
12. Испытание встроенных трансформаторов тока.

Объем, нормы и методы испытаний вводов и трансформаторного масла рассматриваются в гл. XIII, встроенных трансформаторов тока — в гл. XI.

Перед испытаниями проводится внешний осмотр выключателя. При этом проверяют чистоту и целость изоляции, уровень масла, отсутствие течи масла, состояние привода, заземление корпуса и др.

Испытания изоляции масляных выключателей

Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей из органических материалов измеряют с помощью мегомметра на напряжение 2500 *в*.

Методика измерения сопротивления изоляции приведена в гл. III. Величина сопротивления изоляции должна быть не ниже значений, приведенных в табл. XII.1.

Таблица XII.1

Допустимые значения сопротивления изоляции подвижных частей выключателей

Номинальное напряжение, *кв*	Сопротивление изоляции, *Мом*
3—10	1000
15—150	3000
220	5000

Первое измерение производится обычно при включенном положении выключателя. Измеряется суммарное сопротивление изоляции вводов, подвижных и направляющих частей выключателя. Если измеренные сопротивления изоляции окажутся ниже значений, приведенных в табл. XII.1, проводится второе измерение при отключенном выключателе и соединенных между собой вводах каждой фазы выключателя. Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей определяется по результатам двух измерений из выражения

$$R_{из} = \frac{R_{вкл} R_{откл}}{R_{откл} - R_{вкл}}, \qquad \text{(XII.1)}$$

где $R_{вкл}$ и $R_{откл}$ — сопротивления изоляции, измеренные соответственно при включенном и отключенном положениях выключателя.

В тех случаях, когда масло в баки выключателя не залито или есть возможность опустить баки, для измерения сопротивления изоляции присоединяют мегомметр непосредственно к подвижным и направляющим частям.

Измерение угла диэлектрических потерь

Состояние внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств баковых выключателей напряжением 35 *кв* оценивают путем измерения $\operatorname{tg} \delta$ вводов после установки их на выключатель. При таком измерении на величину $\operatorname{tg} \delta$ оказывают влияние элементы внутрибаковой изоляции (дугогасительные устройства, обшивка баков и др.).

В тех случаях, когда $\operatorname{tg} \delta$ вводов велик, из измерения должна быть исключена внутрибаковая изоляция (для этого сливают масло, опускают баки, шунтируют дугогасительные камеры). Внутрибаковая изоляция подлежит сушке, если исключение ее влияния снижает $\operatorname{tg} \delta$ вводов более чем на 4—5%.

Методика измерения $\operatorname{tg} \sigma$ приведена в гл. III.

Испытание повышенным напряжением

Величины испытательных напряжений промышленной частоты для масляных выключателей приведены в табл. XII.2.

Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*. Испытательное напряжение прикладывается: 1) между токоведущими частями и корпусом выключателя, а также токоведущими частями соседних фаз; 2) между разомкнутыми контактами одной фазы при отключенном выключателе. Схемы приложения испытательных напряжений при испытании масляных выключателей приведены на рис. XII.1. Методика испытания изоляции повышенным напряжением рассмотрена в гл. III.

Таблица XII.2

Испытательные напряжения промышленной частоты для масляных выключателей, *кв*

Номинальное напряжение выключателя, *кв*	Испытательное напряжение, *кв*	
	для нормальной изоляции	для облегченной изоляции
3	22	12
6	29	19
10	38	29
15	49	43
20	58	—
35	85	—
110	225	—
150	290	—
220	425	—

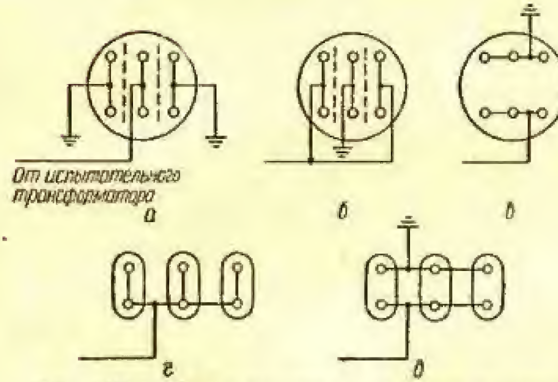


Рис. XII.1. Схемы испытания изоляции масляного выключателя повышенным напряжением промышленной частоты:

а — средней фазы однобакового выключателя; *б* — крайних фаз однобакового выключателя; *в* — контактного разрыва однобакового выключателя; *г* — каждой из фаз трехбакового; *д* — контактного разрыва трехбакового выключателя.

Измерение сопротивления постоянному току контактов масляных выключателей

Сопротивление постоянному току контактов масляных выключателей измеряют для контактной системы фазы и для каждой пары рабочих контактов выключателя. Если выключатели имеют, кроме главных, еще и дугогасительные контакты, измерение проводится для всей контактной системы фазы и отдельно для дугогасительных контактов. В этом последнем случае между главными контактами выключателя прокладывают изоляционные прокладки (из прессшпана). Измерения выполняют микроомметром типа М-246, двойным мостом или амперметром и вольтметром. Методика измерений приведена в гл. II. Предельные величины сопротивления контактов даны в табл. XII.3.

Измерение скорости и времени движения подвижных частей масляных выключателей

Скорость движения подвижных частей выключателя характеризует качество регулировки выключателя и привода. Большая скорость может вызвать чрезмерные ударные механические нагрузки, малая скорость может привести к вибрации и снижению отключающей способности выключателя.

Широко распространен метод измерения скорости включения и отключения выключателя с помощью вибрографа. Виброграф (рис. XII.2)

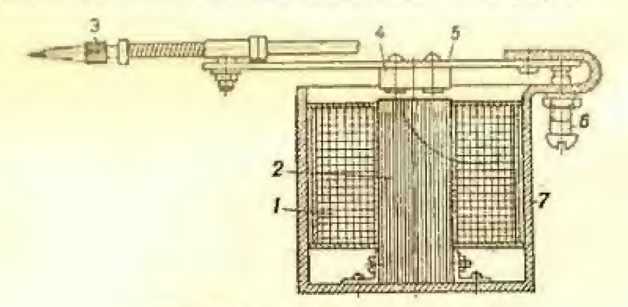


Рис. XII.2. Разрез вибрографа.

представляет собой электромагнит, состоящий из катушки *1* и сердечника *2* с легким якорем *4*. Якорь укреплен на стальной пружинящей пластинке *5*, закрепленной одним концом на корпусе вибрографа *7*. На свободном конце пластины укреплена обойма *3* с графитовым стержнем, против которого помещают бумажную ленту, связанную с подвижной частью выключателя. В обойме имеется пружина, обеспечивающая необходимое прижатие графитового стержня к бумаге. К катушке вибратора подводится ток (для безопасности персонала напряжение рекомендуется 12—36 *в*) частотой 50 *гц*. При каждой полуволне напряжения пластинка с графитовым стержнем притягивается к сердечнику, совершая, таким образом, 100 колебаний за одну секунду. Регулировочным винтом *6* подбирается величина амплитуды колебаний пластинки, удобная для записи.

Таблица XII.3

Предельные величины сопротивления постоянному току контактов масляного выключателя

Тип выключателя	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Предельное сопротивление контактов выключателя при вводе в эксплуатацию и после капитального ремонта, *мком*: всей контактной системы фазы выключателя	элементов контактной системы фазы
МКП-500	500	1500	2350 (с вводами); 1500 (без вводов)	350 (одна камера) 50 (контур подвижных контактов)
МКП-220	220	600	1200 (с вводами); 600 (без вводов)	260 (одна камера)
МКП-274	220	600	960	—
МКП-180	150	600—1000	800	—
МКП-153, МКП-160	110	600	800	—
ВМ-125	110	600	500	—
МКП-110 (с киритовыми пластинами)	110	600	1600	540 (одна камера)
МКП-110 (без киритовых пластин)	110	600	1100	—
МГ-110	110	600	700	—
ВМ-35, ВБ-35, ВМД-35	35	600	550	—
МКП-35	35	600—1000	300	—
МКП-76	35	600	300	—
МГ-35	35	600	400	
МГ-20	20	6000	10	300 (дугогасительные контакты)
МГ-10	10	5000	15	300 (дугогасительные контакты)
ВМП-10	10	600	55	
		1000	40	—
		1500	30	—
ВММ-10	10	400	100	—
ВМГ-133	6—10	600	100	—
		1000	75	—
ВМБ-10	3—10	600	150	—
		1000	100	—
МГГ-223, МГГ-10, МГГ-229	6—10	2000	30	250 (дугогасительные контакты)
		3000	20	250 (дугогасительные контакты)
МГГ-529, МГГ-20	20	2000	30	250 (дугогасительные контакты)
		3000	20	250 (дугогасительные контакты)
Выключатели всех остальных типов	3—10	200	350	—
		600	150	—
		1000	100	—
		2000	75	—

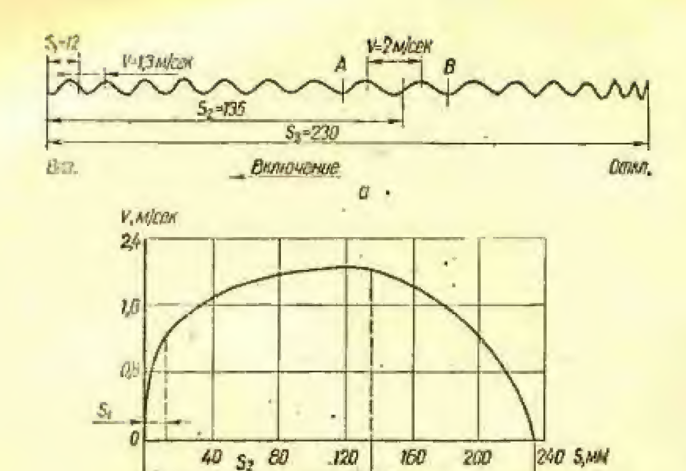


Рис. XII.3. Характеристика скорости включения выключателя:

а — виброграмма; *б* — кривая скорости включения: S_1 — ход в контактах; S_2 — ход в камере; S_3 — полный ход траверсы.

К подвижной части выключателя крепится планка с полосками плотной бумаги. Вибратор устанавливается у этой планки таким образом, чтобы его графитовый стержень совершал колебания в плоскости, перпендикулярной движению ленты. При движении бумажной ленты вместе с подвижной частью выключателя графитовый стержень вычертит на ленте синусоидальную кривую с периодами различной длины. По этой виброграмме (рис. XII.3) могут быть определены ход, время и скорость движения подвижных частей выключателя. Ход подвижных частей определяется непосредственным измерением длины виброграммы. Время движения определяется по числу периодов синусоиды. Скорость движения подвижных частей на всем пути различна. Средняя скорость на данном небольшом участке

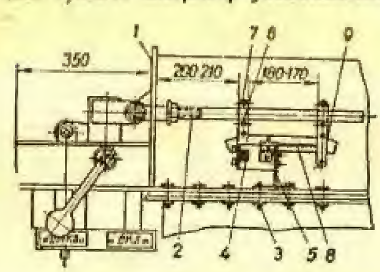


Рис. XII.4. Установка вибрографа на выключателе типа МКП-160:

1 — торцовая плита; *2* — тяга; *3* — болты коробки механизма; *4* — зажим; *5* — скоба; *6* — винт накладки; *7* — стяжной болт зажима; *8* — лента бумажная с металлической подкладкой; *9* — накладка.

определяется из выражения

$$v = \frac{S}{100t}\ [м/сек], \qquad (XII.2)$$

где S — длина участка пути, *см*; t — время движения на этом участке, *сек*.

По виброграмме может быть построена кривая скорости движения подвижных частей выключателя (см. рис. XII.3).

Рекомендуется снимать виброграммы непосредственно на траверсе выключателя, который в это время должен быть залит маслом. Для ба-

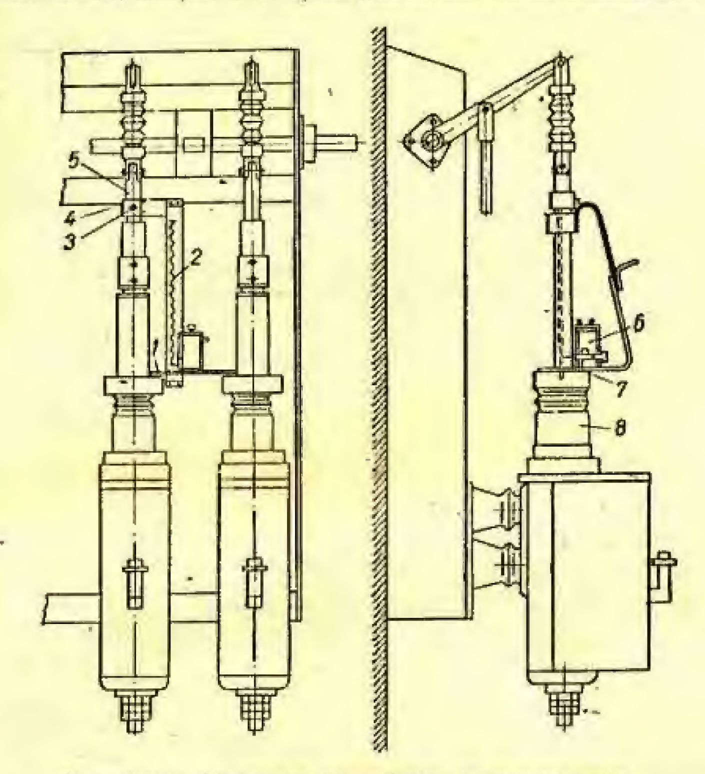


Рис. XII.5. Установка вибрографа на выключателе ВМГ-133:

1 — планка для установки вибрографа; *2* — планка с бумажной лентой; *3* — стопорный винт; *4* — хомут; *5* — изолятор — тяга; *6* — вибрографа; *7* — болты для крепления планки *1* к фланцам проходных изоляторов; *8* — проходные изоляторы.

ковых выключателей виброграмму можно снять на промежуточной подвижной части вне бака выключателя. В этом случае виброграмму предварительно градуируют: на штанге траверсы наносят метки и при медленном включении выключателя делают на виброграмме отметки, соответствующие крайним и ряду промежуточных положений траверсы.

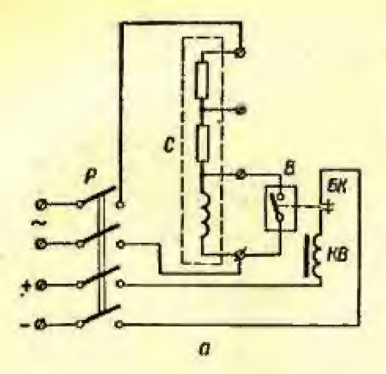
Примеры установки вибрографов приведены на рис. XII.4, XII.5.

Скоростные характеристики выключателей при заполненных маслом баках, температуре окружающей среды от +10° до +20° С и номинальной величине напряжения на зажимах привода должны отличаться от величин, приведенных в табл. XII.4, не более чем на ±10%.

Таблица XII.4

Усредненные величины скорости и времени движения подвижных частей масляного выключателя

Тип выключателя	Тип привода	Время, *сек*, от подачи импульса до момента				Скорость движения подвижных контактов, *м/сек*			
		замыкания контактов	остановки подвижных частей	размыкания контактов	остановки подвижных частей	Наименование операции	Максимальная	В момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов дугогасительных камер	В момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) промежуточного контакта с подвижным (или рабочим) контактом
У-220-10	ШПЭ-44	0,8	—	0,04—0,06	—	—	—	—	—
МКП-220	ШПЭ-44	0,7—0,8	—	0,04—0,05	—	Включение	4,4	2,7	4,4
						Отключение	3,2	1,5	2,8
МКП-160	ПС-30	0,8	0,85	0,07	0,35	Включение	3,0	3,0	—
						Отключение	4,0	2,1	—
МКП-110М	ПЭ-33	0,5—0,6	—	0,04—0,05	—	Включение	3,3	1,8	3,3
						Отключение	2,7	1,5	2,3
МКП-110МП	ПЭ-31	0,5—0,6	—	0,04—0,05	—	Включение	3,5	1,8	3,0
						Отключение	2,7	1,5	2,3
МГ-110	ПС-30	0,46	0,48	0,054	0,1	Включение	1,7	0,2	1,68
						Отключение	5,0	2,3	4,3
ВМ-35, ВМД-35 и ВБ-35	ПС-10	0,18	—	0,06	—	Включение	1,7	—	—
						Отключение	2,45	1,0	—
МКП-35	ПС-30	0,4	0,45	0,05	0,2	Включение	2,5	2,0	—
						Отключение	3,5	1,7	—
МКП-76	ПВС-150	0,45	0,5	0,1	0,25	Включение	2,3	1,7	—
						Отключение	2,9	1,3	—
МГ-35	ПС-20	0,23	0,236	0,06	0,166	Включение	2,5	1,96	2,4
						Отключение	2,7	2,06	2,4
МГ-20	ПС-31	0,65	1,2	0,14	0,37	Включение	2,1	2,0	—
						Отключение	2,0	1,75	—
МГ-10	ПС-31	0,53	0,75	0,12	0,29	Включение	2,5	2,45	—
						Отключение	2,0	1,7	—
МГГ-229	ПС-30Г	0,65	0,7	0,15	0,33	Включение	1,6	1,6	—
						Отключение	1,9	1,4	—
МГГ-223	ПС-30	0,55	0,65	0,15	0,3	Включение	1,4	1,2	—
						Отключение	1,55	1,45	—
МГГ-20	ПС-31	—	0,65	—	0,2	Включение	—	—	—
						Отключение	—	—	—
МГГ-10	ПЭ-2	0,14	0,42	0,11	0,24	Включение	1,7	1,4	—
						Отключение	3,0	2,1	—
ВМГ-133	ПС-10	0,2	0,23	0,1	0,18	Включение	2,8	2,8	—
						Отключение	3,0	2,0	—
ВМП-10 и ВМП-10К	ПЭ-11	0,3	—	0,1	—	Включение	4,1	3,6	—
						Отключение	5,0	3,5	—
ВМП-10П	Пружинный	0,2	—	0,1	—	Включение Отключение	5,5	4,0	—



Для остальных типов выключателей времена и скорости движения подвижных частей устанавливаются в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей. Данными, приведенными в табл. XII.4, следует пользоваться, если нет заводских протоколов испытания.

Собственное время включения и отключения выключателя (от подачи импульса до замыкания или размыкания контактов выключателя) измеряется электрическим секундомером по схемам, приведенным на рис. XII.6. В выключатель следует залить масло.

Измеренные величины должны отличаться от величин, приведенных в табл. XII.4, не более чем на ±10%.

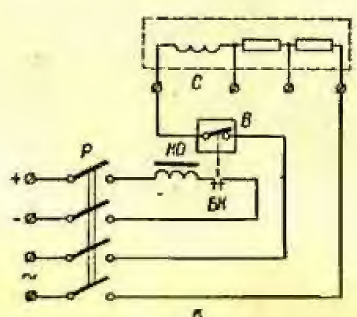


Рис. XII.6. Схема измерения времени включения (*а*) и отключения (*б*) МВ.

Р — рубильник; *В* — масляный выключатель; *С* — секундомер; *КВ* — контактор включения; *КО* — катушка отключения; *БК* — блок-контакт.

Для исключения погрешности вследствие неодновременности подачи импульса на включение (отключение) и для запуска секундомера ножи рубильника должны замыкаться одновременно.

Проверка приводов масляных выключателей

Привод проверяют после тщательной ревизии, чистки и механической регулировки.

Сведения по механической регулировке некоторых наиболее распространенных типов приводов приведены ниже. Перед механической регулировкой привода проводится его внешний осмотр, при котором проверяются все доступные болты и гайки, крепления и пружины, поверхности зацепления всех собачек, защелок и каблучков, отсутствие заусениц, трещин и сколов, надежность креплений всех шарнирных соединений, наличие шайб и шплинтов.

Ручные приводы типа ПРБА

При регулировке и проверке привода необходимо соблюдать осторожность, так как при случайных отключениях выключателя возможен несчастный случай. Рекомендуется установить стопорные приспособления между собачкой и корпусом привода.

На рис. XII.7 показан механизм привода типа ПРБА в различных положениях. При регулировке механизма привода проверяют, происходит ли зацепление рычага *6* за релейную планку *7* при доведении рыча-

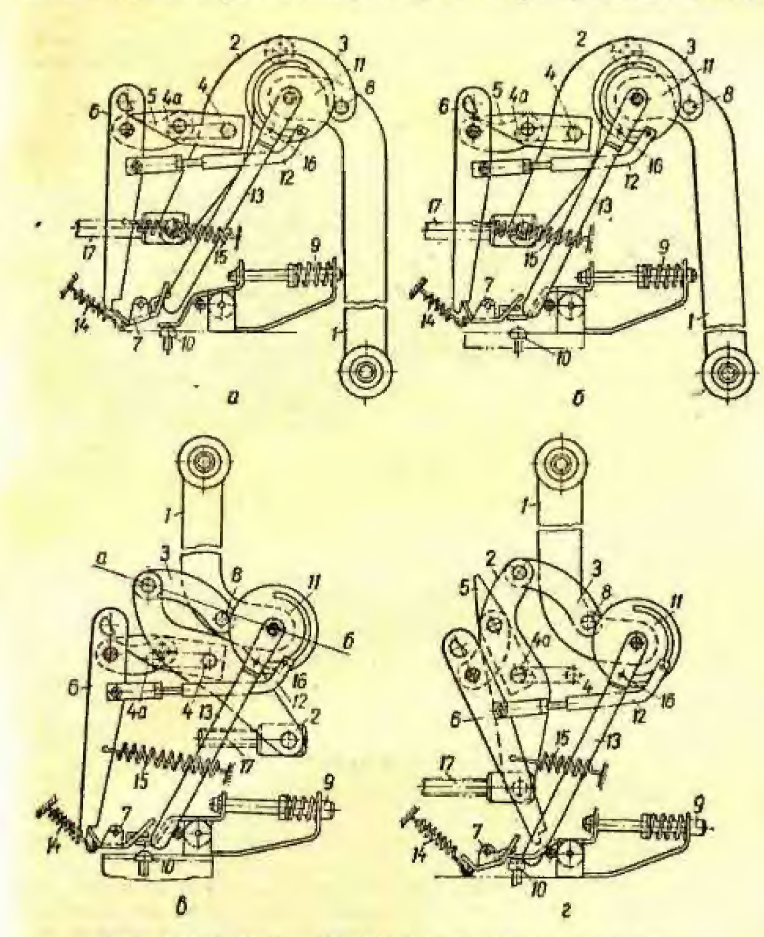


Рис. XII.7. Механизм ПРБА в разных положениях:

а — при заводе механизма; *б* — в исходном положении; *в* — во включенном положении; *г* — в положении после автоматического отключения.

га управления привода вниз до упора. Если зацепление не происходит, нужно ввернуть винт упора с лицевой стороны привода, чтобы увеличить ход рычага управления приводом. Можно отрегулировать зацепление рычага *6* за релейную планку *7* путем изменения длины тяги *12*.

Если не происходит зацепление, то тягу *12* следует удлинить. Затем проверяют зацепление собачки *5* за полуось рычага *6* при доведении рычага управления привода вниз до упора.

Если зацепление осуществляется раньше, чем рычаг управления дойдет до нижнего упора, то тягу от привода к выключателю следует укоротить.

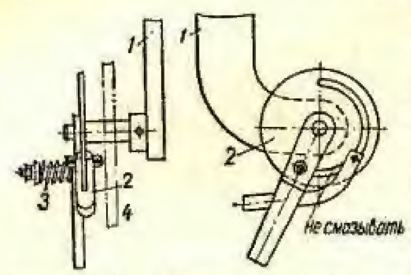


Рис. XII.8. Фрикцион привода ПРБА.

Далее проверяют работу фрикционного сцепления рычага управления *1* привода с рычагом *13*. На рис. XII.8 показана конструкция фрикциона, который должен давать возможность рычагу *1* свободно двигаться снизу вверх при включении выключателя, а при повороте рычага управления привода — сверху вниз. За счет трения в фрикционе рычаг *13* (см. рис. XII.7) должен отклониться и повернуть планку *7* до ее расцепления с рычагом *6*, после чего выключатель отключается.

Выключатель должен отключаться при повороте рычага управления привода сверху вниз на угол не больше 10°, в противном случае следует поджать пружину фрикциона *3*. Если пружина потеряла упругость, то ее заменяют. Необходимо помнить, что детали фрикциона *2* и *4* не должны смазываться, чтобы не уменьшалось трение.

Пружинные приводы

Общий вид и кинематическая схема пружинного привода типа ППМ-10 приведены на рис. XII.9 и XII.10.

Элементы регулировки механизма привода:

тяга I с резьбой; регулируется так, чтобы при ручном и дистанционном отключении и при отключении от РНВ защелка БКА надежно отходила от диска, давая возможность контактам БКА повернуться;

винт II; предназначен для регулировки механизма включения (рис. XII.11), т. е. глубины западания рычага *4* пружины за ролик удерживающего механизма *3*; глубина эта должна быть около 1 *мм*; при заводе пружины рычаг *4* свободно расходится с роликом, т. е. складывает механизм; включающая катушка выполняет включение в пределах 90—110% номинального напряжения на ее зажимах;

винт III (см. рис. XII.10); служит для регулировки завода планки *10* серповидного рычага *4* планкой с сектором *9*; планка *10* должна быть отрегулирована так, чтобы при поднятом серповидном рычаге *4* зазор между планкой *12* и роликом удерживающей стойки был равен 3—5 *мм* (ударник не должен упираться в верхнюю стенку корпуса); при отпущенном серповидном рычаге и заводе пружины планка *10* должна свободно расходиться с сектором *9* рычага *11*;

винт IV; служит для регулировки зацепления защелки *8* с рычагом *17* вала при включения выключателя; глубина захвата 6—7 *мм*;

винт V; предназначен для регулировки механизма завода РНВ;

винт VI (см. рис. XII.10); предназначен для регулировки мертвой точки отключающего механизма *15*;

шлицы VII; позволяют перемещать подшипник таким образом, чтобы планка *12* при поднятом серповидном рычаге находилась в соответствующем положении; шлицы отсечки *27* (см. рис. XII.9) служат для регулировки расцепления рычага и ролика *25* с рычагом *30*; при срывах отсечка поднимается вверх, при глухом упоре рычага внутри привода

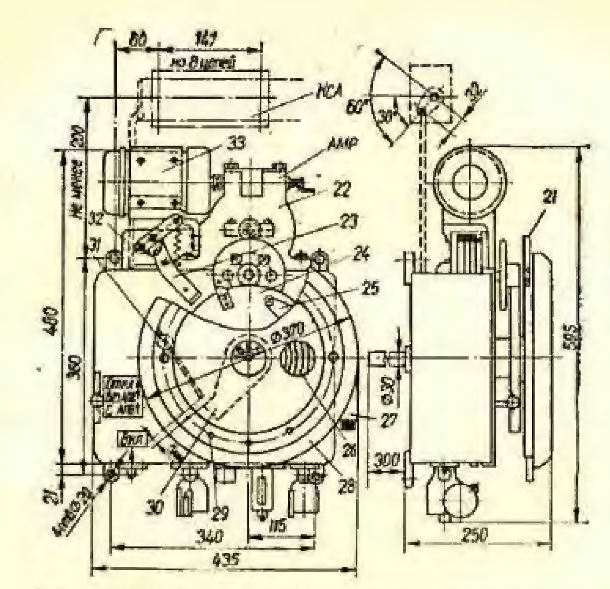


Рис. XII.9. Общий вид пружинного привода типа ППМ-10.

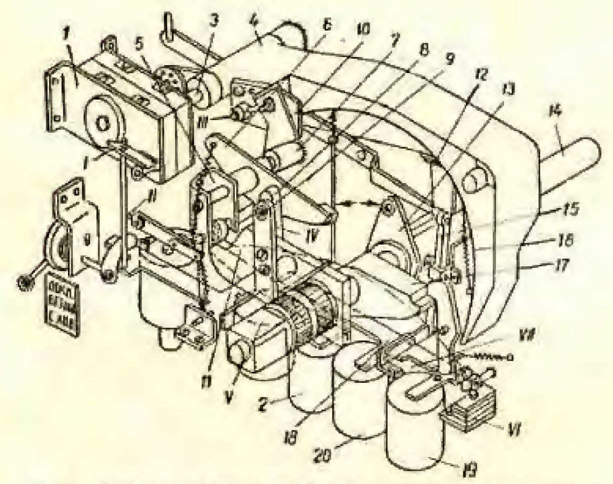


Рис. XII.10. Кинематическая схема пружинного привода типа ППМ-10.

опускается вниз; шлицы планки *21* служат для смещения планки при незаведенной пружине, так чтобы планка рычажного механизма находилась в центре ее;

винты-отражатели *31* и винты крепления оси; служат для регулировки размера 5 *мм* и угла наклона пружинного стержня; регулировка необходима для надежного зацепления ролика *25* с зубом рычага *30*.

Рекомендуется осуществлять опробование привода ППМ-10 в следующей последовательности. С помощью стальной штанги, закрепляемой между двумя ввернутыми в штурвал болтами М12, завести пружину вручную (штурвал поворачивается против часовой стрелки) до надежного западания рычага *11* (см. рис. XII.10) за ролик включающего механизма *6*. Включение и отключение привода вручную проверяют четыре-пять раз. Обращают внимание на правильную работу всех узлов привода и отсутствие заеданий, недовключений и других дефектов в работе.

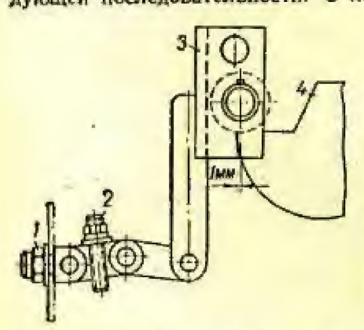


Рис. XII.11. Узел для регулировки механизма включения привода типа ППМ-10:
1, 2 — гайки; *3* — удерживающий механизм, *4* — рычаг

Включают питание оперативного тока и, подавая на электродвигатель кратковременные импульсы, заводят пружину. Это нужно делать медленно, наблюдать за надежностью захвата роликом *25* зуба рычага *30*, за согласованностью моментов западания рычага за ролик механизма *6*, за расцеплением отсечки *27* ролика *25* с зубом рычага *30*, что происходит, когда зазор между рычагом *11* и роликом достигает 1—2 *мм*, за автоматической остановкой двигателя, который должен остановиться одновременно с расцеплением ролика *25* с зубом *30* от разрыва цепей питания блок-контактами КСА.

Включение и отключение привода повторяют три-четыре раза с одновременным заводом пружины. Обращают внимание на работу электродвигателя *33* завода пружины, который должен включаться планкой *21* в конце процесса включения *МВ* (рис. XII.9).

Приводы типа ПП-61 и ПП-67 имеют кинематическую схему, аналогичную схеме ППМ-10. Внешний осмотр и механическая регулировка их аналогичны осмотру и проверке привода ППМ-10.

Электромагнитные приводы

При регулировке рычажного механизма привода ПЭ-11 должны быть выдержаны зазоры, указанные на рис. XII.12. Величина зазора между отключающей собачкой *1* и роликом *2* должна быть 1—2 *мм* (регулируется упорным болтом *3*). Ход сердечника — 18—20 *мм*; угол расцепления $\alpha = 15°$; полный угол поворота $\beta = 60°$. Зацепление между запирающей защелкой и упором не нормируется, а между отключающей защелкой и упором оно должно быть в средней части седла отключающей защелки. Ход якоря электромагнита включения должен обеспечивать необходимый зазор 1—1,5 *мм* между защелкой и упором в процессе зацепления.

При регулировке рычажной системы приводов ПЭ-2 и ПЭ-21 зазоры между защелками и упорами в процессе зацепления должны составлять 1—2 *мм*. Эта величина регулируется у отключающих защелок ввертыванием (вывертыванием) бойка якоря электромагнита включения. Зацепление между защелками и упорами должно быть у привода ПЭ-2 по всей длине седла (отключающая защелка) и не менее $^1/_4$ длины седла у приводов ПЭ-2 и ПЭ-21 (запирающая защелка).

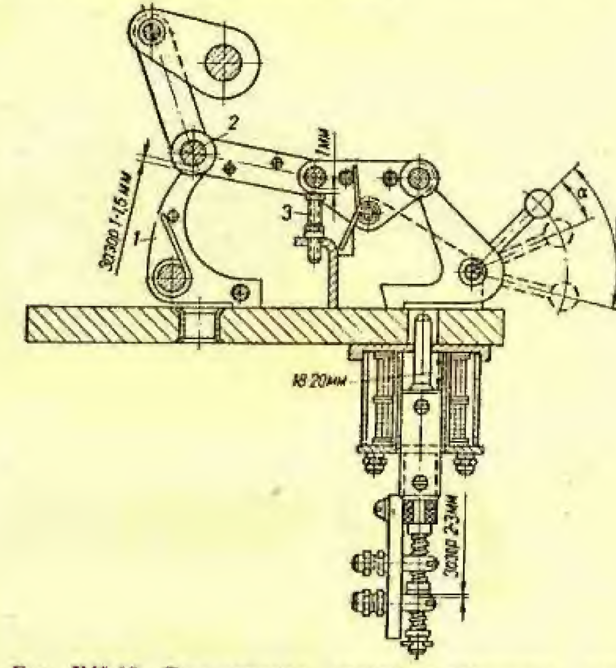


Рис. XII.12. Регулируемые зазоры в механизме привода ПЭ-11.

Ход якоря электромагнита включения у привода ПЭ-21 должен быть 112 *мм*, а у привода ПЭ-2 — 85—87 *мм*. Его регулируют ввертыванием (вывертыванием) бойка электромагнита включения. У электромагнита отключения ход якоря должен позволять после расцепления отключающей защелки движение бойка не менее 2—3 *мм*. Регулировку осуществляют путем изменения длины бойка якоря.

При проверке приводов особое внимание следует обратить на регулировку включающих и отключающих элементов. Включающие (пружинные приводы) и отключающие элементы разбираются и тщательно осматриваются. Сердечник должен легко двигаться в гильзе, на его поверхности и на гильзе не должно быть зазубрин, шероховатостей, грязи, ржавчины, остатков смазки. Необходимо проверить, есть ли диамагнитная шайба, которая препятствует «прилипанию» сердечника к контрполюсу от остаточного намагничивания. Запрещается смазывать поверхности сердечников и бойков электромагнитов и встроенных реле. После установки на место электромагнитов проверяется легкость хода сердечника.

Для этого сердечник следует повернуть четыре-пять раз по $^1/_4$ оборота вокруг своей оси. Сердечник должен двигаться легко и свободно в любом положении. Расстояние между бойком и рычагом отключающего устройства должно соответствовать данным табл. XII.5. Для остальных типов приводов зазор между бойком и рычагом отключающего устройства устанавливается согласно инструкции или исходным данным.

Таблица XII.5

Зазор между бойком и рычагом отключающего устройства приводов масляных выключателей

Привод	Зазор, *мм*
ПС-10	8
ПЭ-2	0
ПЭ-31	1—2
ПЭ-33	1—2
ПЭ-42	1—2
ПЭ-504	1—2
Пружинно-грузовой	5—6

Необходимо, чтобы запас хода бойка был не менее 1—2 *мм*, т. е. чтобы освобождение включающего или отключающего механизма происходило тогда, когда расстояние между поднимаемым сердечником и его контрполюсом — не менее 1—2 *мм*.

Релейный валик (релейная планка) в пружинно-грузовых и ручных приводах не должен иметь искривлений, прогибов и т. п., должен свободно вращаться в подшипниках. Рычаги релейного валика, по которым бьют бойки отключающих электромагнитов, должны быть надежно укреплены и не могли смещаться относительно бойков электромагнитов.

При проверке привода обязательно обращать внимание на состояние и регулировку блок-контактов.

Следует проверить, зачищены ли контактные поверхности, достаточное ли нажатие для надежного контакта. При регулировании блок-контактов типа КСА необходимо добиться, чтобы закрывающиеся и открывающиеся контакты были взаимно сдвинуты на угол 90°, чтобы блок-контакт, используемый в цепи контактора включения (КСУ), обеспечивая достаточную продолжительность импульса на включение, размыкался только в самом конце операции включения. Блок-контакт в цепи отключения должен замыкаться в самом начале операции включения для подготовки цепи отключения на случай включения выключателя на короткое замыкание. Регулировка блок-контактов производится с помощью специальных тяг за счет изменения их длины, а также перестановкой рычага КСА.

Для регулировки момента замыкания и размыкания цепи и продолжительности замкнутого состояния цепи на блок-контактах типа КСА рекомендуется использовать возможность поворота контактных шайб на валу. Контакты разбирают, а шайбы переставляют на нужный угол по граням вала. Иногда, чтобы увеличить время замкнутого состояния цепи, применяют параллельное включение отдельных контактных шайб, повернутых друг относительно друга на некоторый угол.

Угол между рычагом КСА и направлением тяги должен быть не менее 30°, чтобы передача не подходила близко к мертвой точке, вблизи которой возникают большие изгибающие усилия в рычаге и тяге. В разомкнутом положении расстояние между подвижными и неподвижными контактами должно быть 4—8 *мм*. Рекомендуется регулировать блок-контакты при медленном ручном включении и отключении выключателя. В некоторых типах электромагнитных приводов в цепи включения используется проскальзывающий блок-контакт, разомкнутый в обоих конечных положениях привода. Специальная регулировка этого

Таблица XII.6

Обмоточные данные включающих и отключающих электромагнитов приводов постоянного тока масляных выключателей

Тип привода	Тип выключателя	Напряжение, *в*	Включающая катушка: Сопротивление обмотки при 20° С, *ом*	Включающая катушка: Исполнение обмотки	Отключающая катушка: Сопротивление обмотки при 20° С, *ом*	Отключающая катушка: Исполнение обмотки
ПС-10М ПС-10	ВМГ-133 ВМ-35, ВМД-35	110 220	0,564 2,26	ПБД; 2×1,56; 334 витка ПБД; 1,56; 668 витков	22 88	ПЭЛ-1; ПЭВ; ⌀ 0,35, 2 секции по 1760 витков
ПС-20	МГ-10 (2000; 3000 *а*)	110 220	0,42 1,67	ПБД; 2×2,1; 325 витков ПБД; 2,1; 650 витков	22 88	ПЭЛ-1; ПЭВ; ⌀ 0,35, 2 секции по 1760 витков
	МГ-35	110 220	0,84 3,34	ПБД; 2×1,74; 450 витков ПБД; 1,74; 900 витков	22 88	ПЭЛ-1; ПЭВ; ⌀ 0, 35, 2 секции по 1760 витков
	МГ-35В	110 220	0,73 2,93	ПБД; 2×1,81; 425 витков ПБД; 1,95; 850 витков	22 88	ПЭЛ-1; ПЭВ; ⌀0,35, 2 секции по 1760 витков
ПС-30 ПС-31	МГГ-229, 529 МГ-10, МГ-20 5000-6000 а МГГ-20	110 220	0,33 1,32	ПБД; 2×2,83; 250 витков ПБД; 2,83; 2 секции по 250 витков	22 88	ПЭЛ-1; ПЭЛ, ⌀0,35, 2 секции по 1760 витков

Тип привода	Тип выключателя	Напряжение, в	Включающая катушка: Сопротивление обмотки при 20° С, ом	Включающая катушка: Исполнение обмотки	Отключающая катушка: Сопротивление обмотки 20° С, ом	Отключающая катушка: Исполнение обмотки
ПС-30	МГ-110 с трехполюсным управлением	110 220	0,3 1,2	ПБД; 2×2,44; 165 витков ПБД; 2,44; 330 витков	13,4 53,6	ПЭЛ-1; ⌀ 0,41 2 секции по 1475 витков
	МГ-110 с однополюсным управлением	110 220	0,61 2,44	ПБД; 2×1,88; 205 витков ПБД; 1,88; 410 витков	13,4 53,6	ПЭЛ-1; ⌀ 0,41 2 секции по 1475 витков
ПЭ-11	ВМП-10, ВМГ-133, ВМ-35	110 220	0,95 3,8	ПБД; 2,1; 415 витков ПБД; 1,45; 790 витков	44 176	ПЭЛ, ПЭВ, ⌀ 0,29 2 секции по 2450 витков
ПЭ-2-I	МГГ-10 500 *мва*	110 220	0,376 1,5	ПБД; 2,44; 2 секции по 270 витков	22 88	ПЭЛ-1, ПЭВ; ⌀ 0,35, 2 секции по 1760 витков
ПЭ-2-II	МКП-35 1000 *мва*	110 220	0,69 2,76	ПБД; 2,11; 2 секции по 370 витков	22 88	ПЭЛ-1, ПЭВ; ⌀35 2 секции по 1760 витков
ПЭ-21	МГГ-10-500	110 220	0,62 2,48	ПБД; 2,44; 2 секции по 400 витков	22 88	ПЭЛ-1, ПЭВ; ⌀35 2 секции по 1760 витков
	МГГ-10-750	110	0,37 1,48	ПБД; 2,44; 2 секции по 320 витков	22 88	ПЭЛ-1, ПЭВ; ⌀35 2 секции по 1760 витков
	МГГ-10-750-5000	110 220	0,211 0,88	ПБД; 3,05×5,9; 250 витков ПБД; 1,95×4,7; 535 витков	22 88	ПЭЛ-1, ПЭВ; ⌀35 2 секции по 1760 витков
ПЭ-31	МКП-110МП	110 220	0,65 2,6	ПБД; 2,26; 2 секции по 400 витков	11 44	ПЭВ; ⌀ 0,44; 2 секции по 1340 витков
ПЭ-33	МКП-110М	110 220	0,225 0,9	ПБД; 3,05; 2 секции по 200 витков	11 44	ПЭВ; ⌀0,44; 2 секции по 1340 витков
ПЭ-42 ПЭ-44	МКП-220-7 МКП-220-10 У-220-10	110 220	0,23 0,92	ПБД; 1,56×6,9; 2 секции по 250 витков	11 44	ПЭВ; ⌀0,44; 2 секции по 1340 витков
ПЭ-44У	МКП-110-5 У-110-5	220	0,454	ПБД; 2,44×6,9; 378 витков	11 44	ПЭВ; ⌀0,44; 2 секции по 1340 витков

Таблица XII.7

Технические данные электромагнитов ручных, грузовых и пружинных приводов масляных выключателей

Назначение электромагнита	Род тока	Номинальное напряжение, *в*	ПРБА, РБА, ПРАМ-10, ПРА-10		УГП-51, УПГП		ПП-61		ППМ-10	
			Потребляемая мощность, *ва*	Ток, *а*	Потребляемая мощность, *ва*	Ток, *а*	Потребляемая мощность, *ва*	Ток, *а*	Потребляемая мощность, *ва*	Ток, *а*
Отключающий	Постоянный	24	120	5,0	60	2,5	20,5	0,86	156	6,5
		36	—	—	60	1,7	20,5	0,57	—	—
		48	121	2,52	60	1—25	22	0,46	156	3,25
		110	138	1,25	60	0,55	22	0,2	138	1,25
		220	154	0,7	60	0,28	21	0,095	146	0,65
	Переменный	100	—	—	215/90	2,1/0,8	90/42	0,9/0,42	290	2,9
		110	341/198	3,1/1,8					480/320	3,8/2,5
		127	440/266	3,45/2,1	215/90	1,7/0,6	90/42	0,7/0,33	480/330	2,2/1,5
		220	473/308	2,15/1,4	215/90	1,0/0,35	90/42	0,4/0,19	360/240	0,95/0,65
		380	312/182	0,85/0,48						
Дистанционного отключения	Постоянный	24	—	—	150	6,3	48	2	156	6,5
		36	—	—	150	4,2	47	1,3	—	—
		48	—	—	150	3,2	47	0,98	156	3,25
		110	—	—	150	1,4	49	0,445	138	1,25
		220	—	—	150	0,7	50	0,227	146	0,65
	Переменный	100	—	—	900/400	9,0/4,0	540/255	5,4/2,55	290	2,9
		127	—	—	900/400	7,0/3,1	540/255	4,25/20	480/320	3,8/2,5
		220	—	—	900/400	4,1/1,8	540/255	2,45/1,16	480/330	2,2/1,5
	Постоянный	24	—	—	110	4,4	52	2,16	156	6,5
		36	—	—	110	3,1	50	1,39	—	—
		48	—	—	110	2,3	51	1,06	156	3,25
		110	—	—	110	1,0	53	0,482	138	1,25
		220	—	—	110	0,5	50	0,227	146	0,65
Дистанционного включения	Переменный	110	—	—	650/300	6,5/3,0	300/110	3,0/1,1	—	—
		127	—	—	650/300	5,0/2,3	300/110	2,36/0,87	480/320	3,8/2,5
		220	—	—	650/300	3,0/1,4	300/110	1,36/0,5	480/330	2,2/1,5

Примечание. Данные в числителе относятся к заторможенному сердечнику (в нижнем положении), в знаменателе — к подтянутому.

блок-контакта обычно не требуется. Для обеспечения цепи включения при отключенном положении выключателя параллельно проскальзывающему блок-контакту включается блок-контакт обычной конструкции. В пружинно-грузовых приводах следует проверить сопротивление изоляции, состояние подшипников и щеток электродвигателя завода привода, а также действие конечного выключателя в цепи двигателя.

Окончательно правильность регулировки проверяют при снятии электрических характеристик. Перед этим измеряется сопротивление изоляции обмоток электромагнитов и цепей привода мегомметром 1000 или 2500 *в*. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 *Мом*.

Для электромагнитов постоянного тока измеряют омическое сопротивление, для электромагнитов переменного тока — потребление тока при заторможенном и подтянутом сердечнике. Полученные данные сравниваются с заводскими. Основные технические данные электромагнитов приводов масляных выключателей приведены в табл. XII.6 и XII.7.

Минимальное напряжение срабатывания электромагнитов привода измеряется по схемам, приведенным на рис. XII.13. Применение потенциометра при измерениях напряжения срабатывания на переменном токе нежелательно из-за возможного искажения формы кривой напряжения на электромагните. Потенциометр, используемый в схеме, должен

быть низкоомным (не более 50—100 *ом*). С помощью потенциометра или автотрансформатора при включенном электромагните подбирают минимальное напряжение, при подаче которого толчком электромагнит срабатывает. Минимальным напряжением срабатывания считается такое напряжение, при подаче которого толчком происходит четкое срабатывание привода. Согласно ПУЭ, величина минимального напряже-

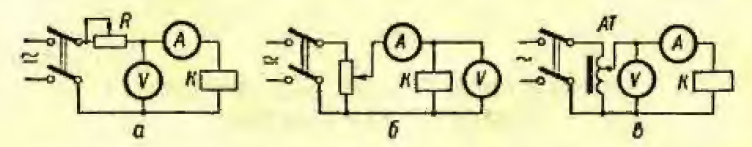


Рис. XII.13. Схемы проверки напряжения и тока срабатывания катушек приводов выключателя:

а — с реостатом; *б* — с потенциометром; *в* — с АТ.

ния срабатывания отключающего электромагнита должна составлять 30—65% номинального напряжения, а контактора и электромагнита включения — не выше 80% номинального напряжения на зажимах привода.

Если катушку включения невозможно питать пониженным напряжением от основного источника питания (батареи, зарядного агрегата и др.), допускается питание ее нормальным напряжением при последовательном включении небольшого сопротивления, за счет которого напряжение на катушке снижается до 80%. Сопротивление рассчитывают на кратковременное протекание тока.

Проверка действия механизма свободного расцепления

Согласно ГОСТу 688-67, свободное расцепление должно быть обеспечено по крайней мере на участке хода включения от замыкания цепи выключателя с учетом величины промежутка между его контактами, пробиваемого при сближении последних, до полного включенного положения выключателя. (Под свободным расцеплением понимается возможность освобождения выключателя от связи с удерживающим и заводящим механизмами привода при срабатывании отключающего устройства, после чего выключатель отключается под действием своих отключающих пружин.)

Действие механизма свободного расцепления проверяют при включенном положении выключателя, при медленном (рычагом или домкратом) доведении выключателя до соприкосновения контактов. Импульс на отключение при этих испытаниях подают через блок-контакты в цепи отключающей катушки.

Испытание выключателя многократными включениями и отключениями следует проводить при напряжениях в момент включения на зажимах привода 110, 100, 90 и 80% номинального. При каждом из указанных напряжений следует совершать три—пять операций. Выключатели, предназначенные для работы в цикле АПВ, подвергают двух-, трехкратному опробованию в цикле О—В—О при номинальном напряжении на зажимах привода. Если по условиям работы источника питания включающих электромагнитов привода не представляется возможным произвести испытание выключателя при напряжении 110% номинального, то допускается испытание при наибольшем напряжении на зажимах привода, которое может быть получено.

При наладке выключателей и их приводов следует проверить надежность действия блокировки от «прыгания» путем подачи команды на включение выключателя при предварительно поданной команде на его отключение.

Объем приемо-сдаточных испытаний воздушных выключателей

Вводимые в эксплуатацию воздушные выключатели необходимо подвергать приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме (по ПУЭ).

1. Измерение сопротивления изоляции опорных изоляторов, изоляторов гасительных камер и отделителей и изолирующих тяг.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции.
3. Измерение сопротивления постоянному току: а) контактов выключателя; б) делителей напряжения выключателя; в) обмоток включающего и отключающего электромагнитов.
4. Проверка характеристик выключателя.
5. Проверка срабатывания привода выключателя при пониженном напряжении.
6. Испытание выключателя многократными включениями и отключениями.

Кроме перечисленного объема работ, измеряют емкости и $\operatorname{tg} \delta$ конденсаторов емкостных делителей. Предельные значения $\operatorname{tg} \delta$ — 0,4%; отклонения измеренных величин емкости от паспортных значений должны составлять не более ± 10%. Для измерений используют мост типа МД-16, методика приведена в гл. III.

Испытание изоляции воздушных выключателей

Сопротивление изоляции опорных изоляторов, изоляторов гасительных камер и отделителей и изолирующих тяг измеряют мегомметром на 2500 *в* или испытательной установкой выпрямленного тока (АИИ-70). В случае необходимости устанавливают на внешней поверхности охранные кольца (см. гл. III). Схема измерения приведена на рис. XII.14. Предельные величины сопротивления изоляции приведены в табл. XII.8.

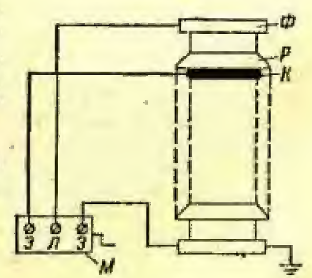


Рис. XII.14. Измерение сопротивления изоляции изоляторов с применением охранных колец:

Ф — металлический фланец; *Р* — ребро изолятора; *К* — охранное кольцо; *М* — мегомметр; *Э* — экран; *Л* — линия; *З* — земля.

При измерениях сопротивления изоляции испытательной установкой выпрямленного тока измерения обычно проводятся на напряжении 40 *кв*.

Сопротивление изоляции штыревых изоляторов ИШД-35 опорной колонки неподвижного контакта измеряют поэлементно; сопротивление изоляции каждого склеенного элемента должно быть не менее 300 *Мом*. Сопротивление изоляции конденсаторов делителей измеряют с помощью мегомметра 2500 *в*. Сопротивление изоляции не нормируется. Что

Таблица XII.8

Предельные величины сопротивления опорной изоляции и изоляции подвижных частей воздушных выключателей

Испытуемый элемент	Номинальное напряжение выключателя, *кв*	Сопротивление изоляции, *Мом*
Опорный изолятор воздухопровода или тяги	до 15 110 и выше	1000 5000
Опорный фарфоровый изолятор	20—35	5000
Тяга, изготовленная из органических материалов	20—35	3000

касается сопротивления изоляции вторичных цепей, обмоток включающего и отключающего электромагнита, то оно измеряется мегомметром на 1000 *в* и должно быть не менее 1 *Мом*.

Методика измерения сопротивления изоляции приведена в гл. III.

Опорная изоляция выключателя, состоящая из многоэлементных изоляторов, испытывается напряжением 50 *кв* промышленной частоты, прикладываемым к каждому элементу изолятора. Опорную цельнофарфоровую изоляцию испытывают напряжением промышленной частоты, величина напряжения приведена в табл. XIII.13. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*. Методика испытаний приведена в гл. III.

Измерение сопротивления постоянному току контактов воздушных выключателей

Измерению подвергается весь токоведущий контур, а также контактные разрывы каждой камеры и отделителя в отдельности.

Измерение сопротивления производится микроомметром типа М246, двойным мостом или методом амперметра — вольтметра. Методика измерений приведена в гл. II. Сопротивление постоянному току делителей напряжения и электромагнитов управления измеряется одинарным мостом.

Предельные величины сопротивлений постоянному току контактов, делителей и электромагнитов воздушных выключателей приведены в табл. XII.10, XII.11, XII.12.

Таблица XII.9

Характеристики воздушных выключателей на 220 *кв*

Наименование характеристик (данные на один полюс)	Тип выключателя		
	ВВ-220	ВВН-220/1000-7000	ВВН-220/2000-7000
Собственное время отключения (от подачи команды до размыкания контактов гасительных камер), *сек*	⩽0,06	⩽0,06	⩽0,06
Разновременность размыкания контактов гасительной камеры, *сек*	⩽0,006	⩽0,006	⩽0,006
Бесконтактная пауза гасительной камеры (от размыкания контактов камеры до их первого вибрационного смыкания), *сек*	0,2—0,3	0,2—0,28	0,2—0,28
Длительность вибрации контактов (на всех элементах камеры) при их смыкании, *сек*	0,06	0,06	0,06
Время от подачи команды на отключение до выхода ножа из неподвижного контакта, *сек*	0,12—0,17	0,14—0,18	0,14—0,18
Запаздывание размыкания ножа отделителя относительно размыкания контактов камеры, *сек*	0,06—0,11	0,08—0,12	0,08—0,12
Наименьший угол поворота ножа, *град*, при отключении от включенного положения до момента первого вибрационного смыкания контактов камеры (при избыточном давлении воздуха в баке, *ат*)	45 (16)	40 (17,5)	40 (17,5)
Разновременность смыкания контактов камеры, включая вибрацию, *сек*	⩽0,03	⩽0,06	⩽0,06
Время включения (от подачи команды до момента смыкания контактов ножа отделителя), *сек*	⩽0,45	⩽0,45	⩽0,45
Разновременность включения трех фаз, *сек*	0,05	0,05	0,05
Наименьшая бестоковая пауза в цикле, *сек*:			
О — В с ножом	0,8	0,8	0,8
БАПВ	0,2—0,3	0,3	0,3

Наименование характеристик (данные на один полюс)	Тип выключателя		
	ВВ-220	ВВН-220/1000-7000	ВВН-220/2000-7000
Наибольшая скорость, *м/сек*, конца ножа при:			
отключении	20—24	18—23	18—23
включении	18—22	13—17	13—17
Скорость движения конца ножа, *м/сек*, в момент:			
выхода из неподвижного контакта	6—10	7—10	8—10
касания неподвижного контакта при включении	—	6—10	6—10
Наименьшее давление срабатывания, *ати*	13	⩽15	⩽15
Полный ход подвижных контактов камеры, *мм*	49±2	50±2	50±2
За одно включение:			
расход воздуха, *л*	200	300	300
сброс давления, *ат*	0,18	0,075	0,075
За одно отключение через 30 *сек* после операций:			
сброс давления, *ат*	3,0—3,5 (3,3—3,2)	1,8—2,2	1,8—2,2
расход воздуха, *л*	3700—4300	7200—8800	7200—8800

Примечание: Данные в скобках относятся к выключателям с баками емкостью 1100 *л*.

Таблица XII.10

Предельные значения сопротивления, *мком*, постоянному току контактов воздушного выключателя при вводе в эксплуатацию и после капитального ремонта

Тип выключателя	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Сопротивление				
			всего контура полюса	гасительной камеры	одного разрыва гасительной камеры	ножа (отделителя)	одного разрыва отделителя
ВВ-15/600	15	600	120	—	—	—	—
ВВ-15/5500	15	5500	—	15/36	—	—	—
ВВН-35/600	35	600	100	—	—	—	—

Тип выключателя	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Сопротивление				
			всего контура полюса	гасительной камеры	одного разрыва гасительной камеры	ножа (отделителя)	одного разрыва отделителя
ВВН-35/1000	35	1000	60	—	—	—	—
ВВН-110/800-4000	110	800	200	150	75	50	—
ВВН-110-2000/4000	110	2000	150	100	50	50	—
ВВ-400I-110/600, ВВ-400IV	110	600	500	200	100	250	—
ВВН-110-6	110	2000	120	40	20	40	20
ВВН-154/800-4000	150	800	300	200	—	100	—
ВВН-154/2000-6000	150	2000	200	150	50	50	—
ВВН-154/800-6000	150	800	300	225	75	75	—
ВВН-154/8	150	2000	160	60	20	60	20
ВВН-220-10	220	2000	200	80	20	80	20
ВВН-220-15	220	2000	220	100	20	80	20
ВВ-20	220	1000	400	250	—	150	—
ВВН-220/1000-7000	220	1000	400	250	40	150	—
ВВН-220-2000-7000	220	2000	400	250	40	150	—

Таблица XII.11

Предельные величины сопротивления постоянному току элементов омических делителей напряжения воздушного выключателя

Тип выключателя	Сопротивление, *ом*
ВВН-154/800-4000, ВВН-154/2000-6000, ВВН-154/800-6000, ВВ-200, ВВН-220/1000-7000, ВВН-220/2000-7000, ВВ-400	180 000±2%
ВВ-400-10, ВВН-220-10	70 000±20%
ВВН-154-8	15 000±150

Таблица XII.12

Предельные величины сопротивления постоянному току обмоток электромагнитов воздушного выключателя

Тип выключателя	Соединение электромагнитов фаз	Напряжение, *в*	Сопротивление обмоток, *ом*	Исполнение обмотки
ВВН-110, ВВН-35, ВВН-154, ВВН-220	Раздельное или параллельное	220	64 $^{+3\%}_{-8\%}$	ПЭЛ-1; ⌀ 0,35/0,39; 1900 витков, 20 рядов

Продолжение табл. XII.12

Тип выключателя	Соединение электромагнитных фаз	Напряжение, в	Сопротивление обмоток, ом	Исполнение обмотки
ВВН-110, ВВН-154, ВВН-220, ВВ-220	Последовательное		8,3 $^{+3\%}_{-8\%}$	ПЭЛ-1; ∅ 0,64/0,68; 800 витков, 15 рядов
ВВН-35, ВВН-110, ВВН-154, ВВ-220	Раздельное или параллельное	110	16,3 $^{+3\%}_{-8\%}$	ПЭЛ-1; ∅ 0,51/0,56; 1005 витков, 14 рядов
ВВН-110, ВВН-154, ВВ-220	Последовательное		1,68 $^{+3\%}_{-8\%}$	ПЭЛ-1; ∅ 0,96/1,02; 365 витков, 10 рядов
ВВ-35, ВВН-35, ВВ-15/5500	Раздельное	220	49 $^{+1,47}_{-3,92}$	ПЭЛ-1; ∅ 0,38/0,42; 1850 витков
ВВН-35	»	110	18,6 $^{+3\%}_{-8\%}$	ПЭЛ-1; ∅ 0,51/0,56; 1150 витков
ВВН-110; ВВ-220, ВВН-220	Раздельное или параллельное	220	10±2 (1-я обмотка) 45±2 (2-я обмотка)	ПЭЛ (медь); ∅ 0,51/0,56; 660 витков, 10 рядов

Проверка характеристик воздушных выключателей

Для измерения временных характеристик при наладке воздушных выключателей используется магнитоэлектрический осциллограф. Предварительные измерения при наладке, а также измерения отдельных величин (собственное время отключения, бесконтактная пауза и др.) после небольших работ на выключателе можно выполнить с помощью электромиллисекундомера (ЭМС-54).

На рис. XII.15 приведена схема осциллографирования (описание осциллографа Н102 (см. гл. II)) работы выключателя с воздухонаполненным отделителем. Четыре вибратора используются для осциллографирования работы контактов камеры и отделителя, один вибратор для записи тока электромагнитов управления и один — в качестве отметчика времени, записывающего синусоиду переменного тока 50 *гц*, по которой определяется на осциллограмме продолжительность отдельных циклов работы выключателя. Для достижения одинакового направления тока в вибраторах и отклонения лучей на осциллограмме провода *5* и *7* присоединены к вибраторам накрест. Для осциллографирования контактов

выключателей применяются вибраторы низкой чувствительности. Наиболее пригодны для этой цели вибраторы типов МОВ2-I и Н135-3, однако при недостаточном количестве их применяются также вибраторы МОВ2-II, МОВ2-IV, Н135-6, Н135-1,5.

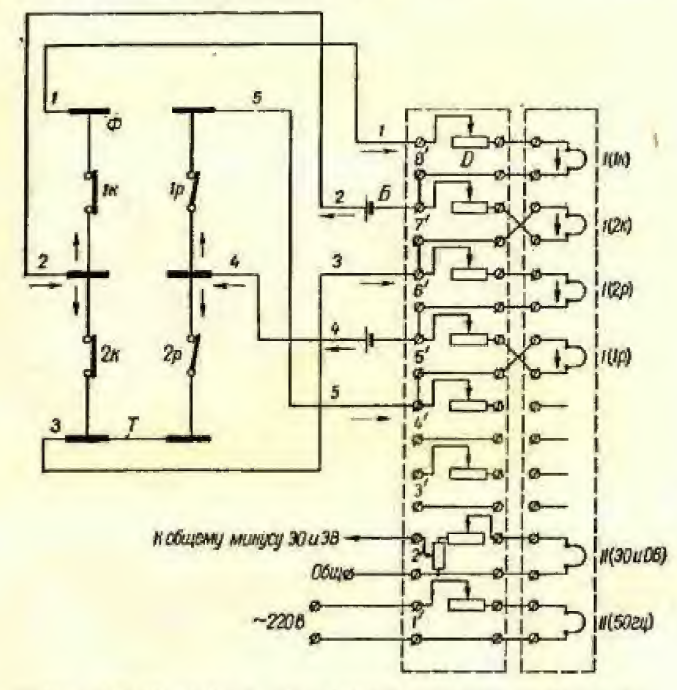


Рис. XII.15. Схема осциллографирования работы выключателя ВВН-110-6:

1к, 2к — контактные разрывы камеры; 1р, 2р — контактные разрывы отделителя; Б — батарея питания; I, II — вибраторы осциллографа.

После сборки схемы, приведенной на рис. XII.15, и схемы управления выключателем осциллографирование проводится в такой последовательности. Подготавливается необходимая операция (отключение, включение и т. д.), устанавливается необходимое давление воздуха в баках и проверяется положение выключателя; удаляются люди из зоны, огражденной для проведения испытаний выключателя; устанавливается скорость движения пленки осциллографа, равная 250 *мм/сек*; для осциллографирования простых операций длина кадра устанавливается равной 12—15 *см*, для сложных циклов — 18—20 *см*; включаются питание, вибраторы и электродвигатель осциллографа и пропускается вхолостую 5—10 *см* пленки; специальным сигналом персонал предупреждается о начале испытаний; подается оперативный ток и проводится подготовленная операция (включение выключателя, отключение и т. д.); сразу после операции снимается оперативный ток; проверяется положение выключателя.

Для оценки полученных результатов первоначально снимают осциллограммы простых операций. На рис. XII.16 приведена осциллограмма, снятая по схеме, соответствующей рис. XII.15. На рис. XII.17 приведена осциллограмма работы выключателя, на которой отмечены участки, соответствующие измеряемым временным характеристикам работы выключателя: a — собственное время отключения; b — разновременность размыкания контактов камеры; c — бесконтактная пауза камеры; d — бесконтактная пауза верхнего разрыва камеры; e — бесконтактная пауза нижнего разрыва камеры; f — запаздывание размыкания отделителя относительно размыкания контактов камеры; g — разновременность размыкания контактов отделителя; k — разновременность смыкания контактов камеры, включая вибрацию; i — длительность отключающего импульса; r — время включения; s — разновременность смыкания контактов отделителя; j — длительность включающего импульса.

При расшифровке осциллограмм масштаб времени определяется из выражения

$$m = \frac{nT}{l} \ [сек/мм], \tag{XII.3}$$

где T — период синусоиды отметчика времени (при частоте 50 *гц* $T = 0{,}02$ *сек*, при частоте 500 *гц* $T = 0{,}002$ *сек*); n — число периодов, укладывающихся на отрезке осциллограммы.

Осциллографирование работы воздушного выключателя с открытым отделителем проводится так же, как работы выключателей с воздушным отделителем. При этих измерениях определяют характеристики движения ножа с помощью специального приспособления— регистратора хода.

На рис. XII.18 показан регистратор хода конструкции ЦВЛ Мосэнерго, представляющий собой текстолитовый диск *Д* с латунными ламелями *Л*, утопленными в текстолите заподлицо и крепящимися заклепками *З*. Ламели связаны гибким проводом *Г*, выведенным на зажим *Ж*. Ламели и изоляционные промежутки между ними имеют форму одинаковых сегментов с центральным углом $\varphi = 5°$. Регистратор хода жестко соединен с валом ножа, а на приводе отделителя крепится неподвижный пружинящий контакт, который, соприкасаясь с ламелями и изоляционными промежутками поворачивающегося вместе с валом ножа регистратора хода, периодически замыкает и разрывает цепь вибратора осциллографа. Существуют также и другие конструкции и способы крепления регистратора хода (например, регистратор хода крепится к приводу отделителя, а на ноже отделителя — подвижный контакт).

Схема осциллографирования работы выключателя с открытым отделителем приведена на рис. XII.19. Помимо регистратора хода при наладке применяется вспомогательный контакт (2Т на рис. XII.19) для фиксации отключенного положения ножа, установленный на нижнем элементе камеры.

На рис. XII.20 показана осциллограмма отключения выключателя с открытым отделителем. На осциллограмме нечетными номерами обозначены участки соприкосновения с неподвижным контактом ламелей регистратора хода, четными — изоляционные промежутки. Отмечены также участки, соответствующие измеряемым временным характеристикам движения ножа: c — время движения ножа от момента выхода из губок до полной остановки; d — время от подачи команды на отключение до полной остановки ножа; e — время от подачи команды на отключение до выхода ножа из губок; α — угол поворота ножа от включенного положения до момента первого вибрационного смыкания контактов камеры, причем

$$\alpha = \varphi n, \tag{XII.4}$$

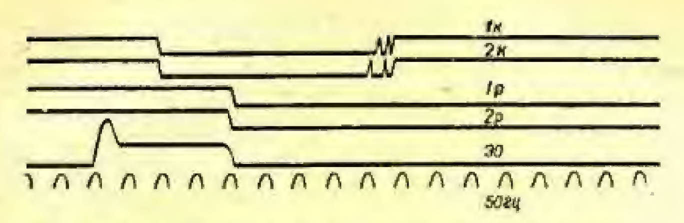
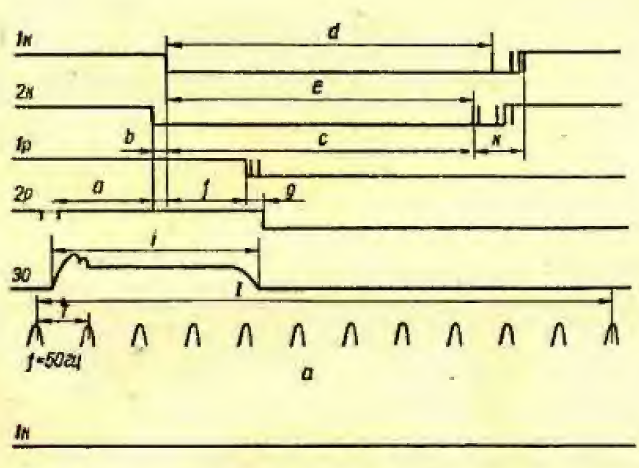


Рис. XII.16. Осциллограмма отключения выключателя ВВН-110-6.



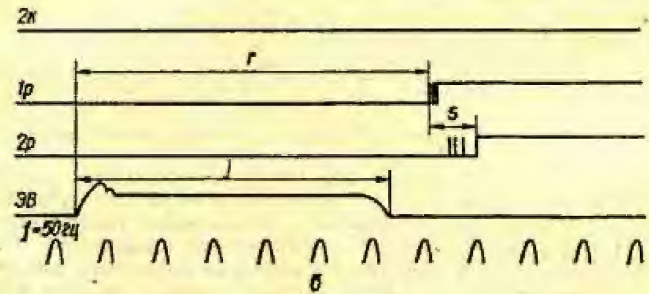


Рис. XII.17. Осциллограмма работы выключателя ВВН-110-6:

а — осциллограмма отключения; *б* — осциллограмма включения.

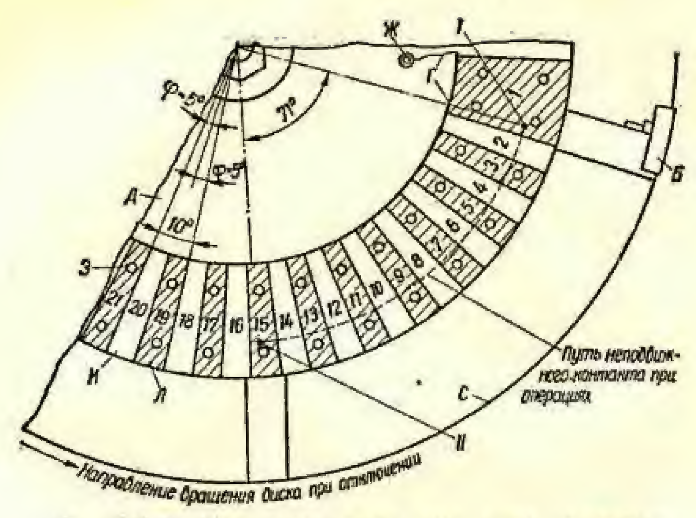


Рис. XII.18. Диск регистратора хода ножа отделителя выключателей 110—154 *кв*:

I — положение неподвижного контакта при включенном ноже; *II* — положение неподвижного контакта при отключенном ноже.

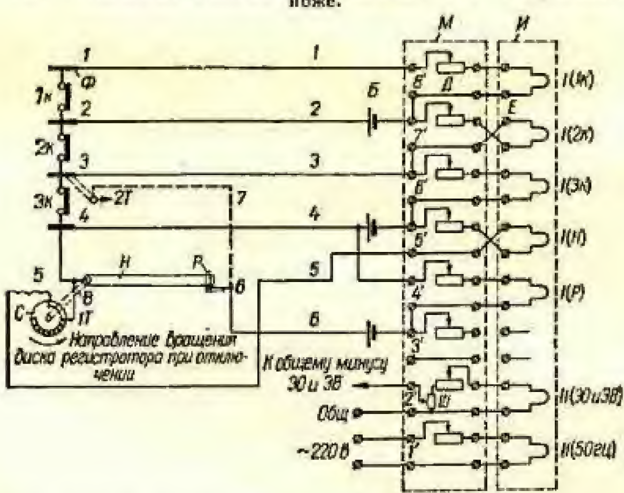


Рис. XII.19. Схема осциллографирования работы выключателя ВВ-154:

Ф — фланцы камеры; *Н* — нож отделителя; *В* — вал ножа; *Р* — неподвижный контакт отделителя; *С* — диск регистратора хода ножа; *1Т* — неподвижный контакт регистратора, *2Т* — вспомогательный контакт; *Д* и *Ш* — добавочные сопротивления и шунты к вибраторам; *К* — контактные разрывы камеры; I—II — вибратор МОВ2 или Н135.

где φ — угол сегмента ламели и изоляционного промежутка регистратора хода (на рис. XII.18 φ = 5°); *n* — число ламелей и изоляционных промежутков, пройденных ножом (по осциллограмме).

Помимо перечисленных временных характеристик по осциллограмме может быть определена линейная скорость конца ножа на любом

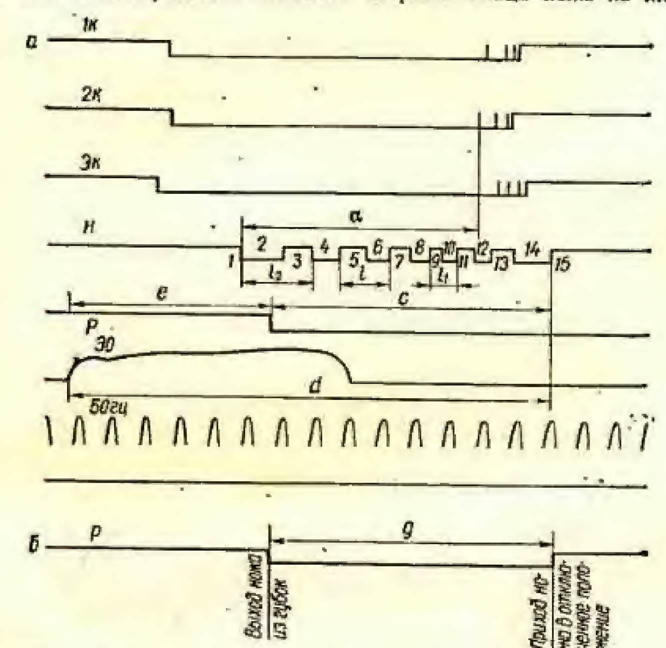


Рис. XII.20. Осциллограмма отключения выключателя ВВН-154:

а — осциллограмма с использованием для записи регистратора хода ножа; *б* — осциллограмма с использованием для записи вспомогательного контакта.

участке его движения. Линейная скорость конца ножа определяется из выражения

$$v = \frac{2\varphi}{360} \cdot \frac{2\pi R}{ml} \text{ [м/сек]}, \qquad \text{(XII.5)}$$

где R — длина ножа, *м*; φ — угол сегмента ламели и изоляционного промежутка регистратора хода (см. рис. XII. 18); l — длина отрезка, измеренная на осциллограмме движения ножа (рис. XII.20), *мм*; m — масштаб времени на осциллограмме, *сек/мм*.

Так, скорость ножа, определенная на участке *2—3* по отрезку l_2 (рис. XII.20), является скоростью в момент выхода ножа из губок неподвижного контакта отделителя. Максимальная скорость имеет место на участке *9—10*, длина которого l_1 минимальна.

Аналогично по осциллограмме включения могут быть определены: а) скорость ножа — максимальная и в момент касания губок неподвижного контакта отделителя; б) время движения ножа от момента трогания

Таблица XII.13

Характеристики воздушных выключателей 110—150 *кв*

Наименование характеристик (данные на один полюс)	Тип выключателя					
	ВВН-110/800-4000	ВВН-110/2000-4000	ВВ-4001-110/600	ВВН-110У/800-4000	ВВН-154/800-4000	ВВН-154/2000-6000 (ВВН-154/800-6000)
Собственное время отключения, *сек*	≤0,06	≤0,06	0,035—0,05	≤0,06	≤0,06	≤0,06
Разновременность размыкания контактов гасительной камеры, *сек*	≤0,006	≤0,006	≤0,003	≤0,006	≤0,006	≤0,006
Бесконтактная пауза гасительной камеры при отключении, *сек*	0,2—0,25	0,22—0,27	0,15—0,2	0,2—0,25	0,2—0,25	0,18—0,25
Запаздывание размыкания ножа отделителя относительно размыкания контактов камеры, *сек*	0,03—0,05	0,04—0,07	0,03—0,05	0,025—0,05	0,03—0,06	0,03—0,06
Разновременность смыкания контактов камеры (включая вибрацию), *сек*	≤0,02	≤0,02	≤0,005	≤0,02	≤0,02	—
Длительность вибрации контактов камеры при их смыкании, *сек*	≤0,04	≤0,04	≤0,025	≤0,02	≤0,04	≤0,04
Собственное время включения, *сек*	≤0,3	≤0,3	0,2—0,3	0,17—0,22	≤0,3	около 0,3
Время от подачи команды на включение до момента трогания ножа (по данным наладки)	не более 0,12 *сек* для всех выключателей					
Длительность импульса, *сек*:						
включающего	0,12—0,16	0,12—0,16	0,12—0,16	0,12—0,15	0,12—0,16	0,12—0,16
отключающего	—	—	—	0,07—0,11	—	—
Время движения ножа, *сек*:						
при включении	—	—	—	0,10—0,13	—	—
при отключении	—	—	0,11—0,16	0,10—0,16	—	—
Разновременность включения фаз, *сек*	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Наименьшая бестоковая пауза в цикле:						
АПВ с ножом, *сек*	0,8	0,8	0,8	0,4	0,8	1,0
БАПВ, *сек*	0,2—0,25	0,22—0,27	0,28—0,3	—	—	0,18—0,25
Наибольшая скорость движения конца ножа при:						
включении, *м/сек*	16—20	13—18	—	—	17—21	11—15
отключении, *м/сек*	18—21	14—20	20—24	—	16—21	12—16
Скорость движения конца ножа отделителя в момент касания губок неподвижного контакта при включении, *м/сек*	6—10	6—10	5—6	—	7—11	7—11
Наименьшее избыточное давление срабатывания, *ат*:						
при включении	13	13	10—12	7—10	13	13
при отключении	13	13	11—13	7—10	13	13
Полный ход подвижных контактов камеры, *мм*	50	50	50	50	50	49±2
За одно отключение через 30 *сек* после операции:						
сброс избыточного давления, *ат*	2,8—3,1	2,8—3,1	≤3,1	2,5—3,0	3,3—3,9	3,5—3,9
расход воздуха, *л*	1950—2150	1950—2150	2100	1740—2085	2290—2710	2430—2710
За одно включение:						
сброс давления, *ат*	0,14	0,14	0,15	0,2	0,14	0,14
расход воздуха, *л*	100	100	100	100	100	100

до момента касания ножом губок; в) время от подачи команды на включение до момента трогания ножа; г) угол поворота ножа от начального положения до момента обрыва тока в электромагните включения.

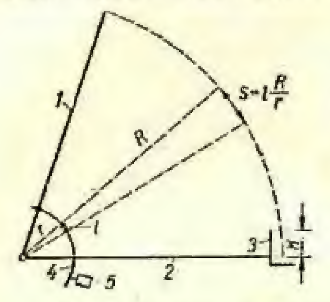


Рис. XII.21. Принципиальная схема определения скорости движения ножа отделителя по виброграмме:

1 — нож в отключенном положении; 2 — нож во включенном положении; 3 — губки неподвижного контакта отделителя; 4 — сектор, используемый для записи виброграммы; 5 — виброграф.

Для определения скорости движения ножа отделителя может быть также использован виброграф.

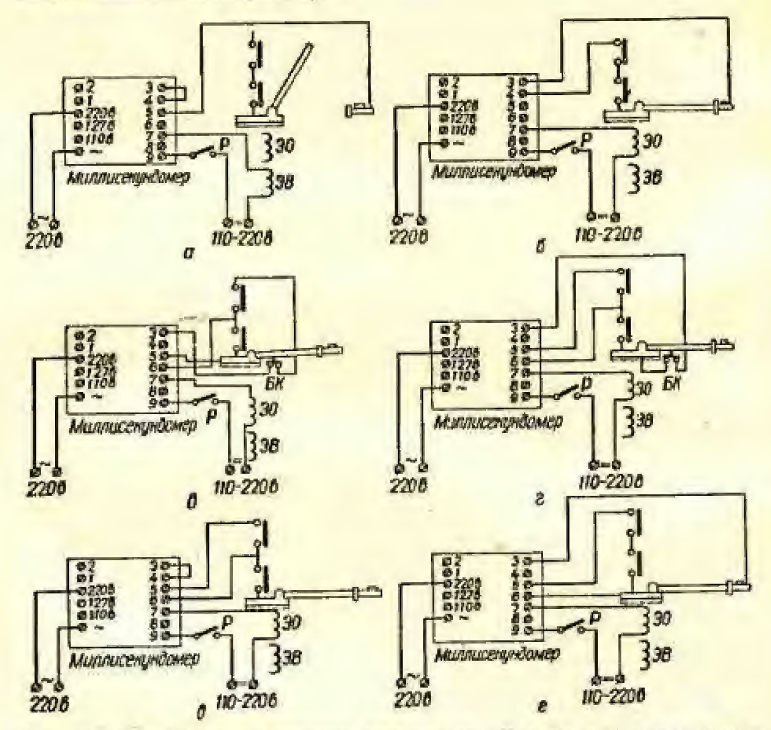


Рис. XII.22. Схемы измерения временных характеристик воздушных выключателей электрическим секундомером:

а — времени включения выключателя; б — времени отключения выключателя; в и г — разновременности размыкания контактов гасительных камер; д — времени бесконтактной паузы; е — времени запаздывания ножа отделителя.

Таблица XII. 14

Характеристики воздушных включателей на 110÷220 *кв* с воздухонаполненным отделителем (данные для одного полюса)

Наименование характеристик	Тип выключателя с воздухонаполненным отделителем	
	ВВН-110-6	ВВН-154-8, ВВН-220-10, ВВН-220-15
Собственное время отключения (от подачи импульса на отключение до первого размыкания контактов камеры), *сек*	⩽0,045	⩽0,05 / ⩽0,06
Разновременность размыкания контактов камеры, *сек*	⩽0,004	⩽0,005 / ⩽0,006
Бесконтактная пауза камеры при отключении (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта до первого вибрационного смыкания контактов), *сек*	0,13±0,02	0,13±0,02
Разновременность смыкания контактов камеры (от первого вибрационного смыкания до прекращения вибрации), *сек*	⩽0,04	⩽0,06 / ⩽0,08
Запаздывание размыкания отделителя (время от размыкания последнего разомкнувшегося контакта гасительной камеры до размыкания первого разомкнувшегося контакта отделителя), *сек*	0,03—0,045	0,03—0,045
Разновременность размыкания контактов отделителя, *сек*	⩽0,006	⩽0,015
Время включения (от подачи команды на включение до смыкания контактов отделителя), *сек*	⩽0,15	⩽0,2
Разновременность смыкания контактов отделителя (от первого вибрационного смыкания до прекращения вибрации контактов), *сек*	⩽0,025	⩽0,04
Бестоковая пауза АПВ (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта камеры до первого вибрационного смыкания контактов отделителя в цикле О — В), *сек*		⩽0,3
Разновременность включения трех фаз, *сек*	⩽0,04	⩽0,04
За одно отключение (через 30 *сек* после операции) при обеспечении необходимой бесконтактной паузы:		1,9—2,5 (для ВВН-154-8)
сброс давления, *ат*	2,2—2,6	⩽2,9
расход воздуха, *л*	до 3670	6000
Наименьшее давление, при котором четко работает механизм отделителя (залипает при отключении), *ат*	14	14
Наименьшее давление, при котором контакты отделителя начинают двигаться на смыкание, *ат*	10	10

Наименование характеристик	Тип выключателя с воздухонаполненным отделителем	
	ВВН-110-6	ВВН-154-8, ВВН-220-10, ВВН-220-15
Давление самовключения контактов отделителя, *ати* (из опытных данных)	5÷7	5÷7

Примечание. Данные в знаменателе относятся к выключателю типа ВВН-220-15.

Характеристики воздушных выключателей 35 *кв* (типов ВВН-35/600 и ВВН-35/1000)

Собственное время отключения, *сек*	не более 0,07
Полное время отключения (до прихода нижних контактов в крайнее положение), *сек*	не более 0,3
Время включения, *сек*	не более 0,3
Наибольшая скорость движения нижних подвижных контактов, *м/сек*, при	
включении	3±0,5
отключении	4±0,5
Скорость движения нижних подвижных контактов при включении в момент смыкания, *м/сек*	2,5±0,5
Сброс давления за одно отключение (при измерении через 30 *сек* после операции), *ат*	4,5±5 (900—1000 *л*)
Сброс давления за одно включение, *ат*	0,5 (100 *л*)
Наименьшее избыточное давление срабатывания выключателя, *ат*	не более 13

На рис. XII.21 приведена схема установки вибрографа и определения скорости движения ножа отделителя по виброграмме. Скорость движения конца ножа

$$v = \frac{lR}{1000tr} \ [м/сек], \qquad (XII.6)$$

где l — отрезок виброграммы, *мм*, пройденный за время t, *сек*; R — длина ножа, *м*; r — радиус сектора вибрографа, *м*.

Отрезок l измеряется на виброграмме между нулевыми точками синусоиды. Время t определяется числом периодов, содержащихся в отрезке l.

Максимальную скорость ножа определяют на том участке виброграммы, где период синусоиды имеет наибольшее значение. Скорость измеряют в момент касания ножом губок. Для этого находят на виброграмме точку, отстоящую от конца на отрезок Hr/R, где H — ход ножа в губках.

Время движения ножа определяется числом периодов на виброграмме. Аналогичным образом расшифровывается виброграмма отключения.

Как отмечалось выше, в отдельных случаях измерение некоторых временных характеристик можно выполнять электромиллисекундомером. На рис. XII.22 приведены схемы измерения некоторых временных характеристик электромиллисекундомером типа ЭМС-54.

Если при измерении по схеме, соответствующей рис. XII.22, *в*, стрелка прибора не отклоняется, необходимо применить схему по рис. XII.22, *г*. Блокирующую кнопку *БК* устанавливают так, чтобы при включенном ноже отделителя ее контакты были замкнуты.

У выключателей, число контактных разрывов камер которых более двух, разновременность размыкания определяется для первого и второго разрывов, затем для второго и третьего и т. д. При измерениях контактные разрывы, не участвующие в измерении, должны быть закорочены.

Измерение длительности бесконтактной паузы производится для каждого контактного разрыва.

Характеристики воздушных выключателей 110—220 *кв* приведены в табл. XII. 9, XII.13, XII.14.

Проверка срабатывания привода выключателя при пониженном напряжении и испытание воздушных включателей многократными включениями и отключениями

Напряжение срабатывания электромагнитов управления определяют при наибольшем давлении воздуха в баке (21 *ат*) по схеме, приведенной на рис. XII.13, *б*. Напряжение на электромагниты должно подаваться толчком. При необходимости напряжение поднимается на 4—6 *в* (при отключенных электромагнитах) и вновь подается толчком и т. д. до срабатывания выключателя. Затем при неизменном положении движка потенциометра вместо электромагнита управления включается сопротивление, равное по величине сопротивлению обмотки электромагнита, и по вольтметру определяется напряжение срабатывания. Напряжение срабатывания электромагнитов управления не должно превышать 65% номинального. Во избежание повреждения обмоток электромагнитов в случае непереключения СБК импульсы следует подавать кратковременные.

Заключительной операцией при наладке воздушных выключателей является их испытание многократными включениями и отключениями. Количество операций при этих испытаниях приведено в табл. XII.15.

Снятие характеристик и наладка воздушных выключателей связаны со значительной подготовкой и последующей обработкой результатов, поэтому при большом объеме работ по наладке воздушных выключателей следует иметь передвижную лабораторию, оборудованную осциллографами и другой электроизмерительной аппаратурой, щитом управления со смонтированной схемой для управления выключателем и осциллографом, фотокабиной для проявления осциллограмм и другими приспособлениями.

Испытания и опробования воздушных выключателей следует проводить с соблюдением общих и специальных мер по технике безопасности.

Таблица XII.15

Количество операций при испытании воздушного выключателя многократными включениями и отключениями

Наименование операций или цикла	Давление срабатывания выключателя, *ати*	Количество операций для выключателя с рабочим давлением, *ати*		
		15—21	16—21	17,5—21
Включение и отключение	Наименьшее	3	3	3
	15	2	—	—
	16	—	2	—
	17,5	—	—	3
	18	2	2	—
	19	—	—	2
	20	2	3	3
	21	2	2	2
Цикл В — О	15	2	—	—
	16	—	2	—
	17,5	—	—	2
	21	2	2	2
Цикл О — В	19	2	2	—
	20	—	—	2
	21	2	2	2
Цикл О — В — О	19	2	2	—
	20	—	—	2
	21	2	2	2
Цикл БАПВ	19	—	2	—
	20	—	—	2
	21	—	2	2
Цикл БАПВ — неуспешное	19	—	2	—
	20	—	—	2
	21	—	2	2

Примечание. Испытание в цикле БАПВ проводится только для выключателей, предназначенных для работы в этом цикле.

Персонал, выполняющий наладочные работы, должен находиться при испытаниях в укрытии (будке, лаборатории и т. п.) не ближе чем в 15—20 *м* от крайней фазы. Доступ к выключателю, на котором ведется наладка, ограждают канатом в радиусе 60—100 *м*.

Глава XIII

ПОДСТАНЦИОННОЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Выключатели нагрузки и предохранители на напряжение выше 1000 в

Согласно ПУЭ, объем приемо-сдаточных испытаний выключателей нагрузки при вводе их в эксплуатацию следующий.

1. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции выключателя. Для выключателей нагрузки на 6 *кв* испытательное напряжение 29 *кв*, для выключателей нагрузки на 10 *кв* — 38 *кв*. Время приложения испытательного напряжения — 1 *мин*. Методика испытаний приведена в гл. III.

2. Проверка действия механизма свободного расцепления, выполняемая при включенном положении привода, в двух-трех промежуточных его положениях и на границе зоны действия свободного расцепления (см. гл. XII).

3. Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении. Методика и нормы испытаний приведены в гл. XII.

4. Испытание выключателя многократным включением и отключением. Методика испытаний приведена в гл. XII.

5. Определение целости плавких вставок предохранителей. Вставки должны быть калиброванными, без обрывов.

В «Объеме и нормах испытания электрооборудования» (1964 г.) предусмотрено также измерение сопротивления постоянному току контактов включателя и обмоток включающих и отключающих электромагнитов. Допускается увеличение сопротивления контактов по сравнению с первоначальными измерениями не более чем в 1,5 раза. Методика измерения сопротивления постоянному току приведена в гл. II.

Измерение сопротивления и испытание изоляции катушек включающего и отключающего электромагнитов и цепей вторичной коммутации привода выполняются так, как описано в гл. III.

Перед испытаниями проводится внешний осмотр: проверяют состояние подвижных и неподвижных контактов, нет ли видимых повреждений фарфоровых изоляторов.

Приемо-сдаточные испытания предохранителей на напряжение выше 1000 *в* (ГОСТ 2213-59), согласно ПУЭ, проводятся в следующем объеме.

1. Испытание опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением. Величины испытательных напряжений приведены в табл. XIII.13. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

2. Определение целости плавких вставок и токоограничивающих сопротивлений. Плавкие вставки и токоограничивающие сопротивления должны быть калиброванными и не иметь обрывов.

Разъединители, короткозамыкатели и отделители

Согласно ПУЭ, объем приемо-сдаточных испытаний вводимых в эксплуатацию разъединителей (ГОСТ 689-55) короткозамыкателей и отделителей таков.

1. Измерение сопротивления изоляции поводков и тяг, выполненных из органических материалов. Измерение выполняется с помощью мегомметра на 2500 *в*. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее величин, приведенных в табл. XII.1.

Таблица XIII.1

Предельные величины сопротивления постоянному току контактов разъединителей

Тип разъединителя	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Предельное сопротивление контактов, *мком*
РЛН	220—35	600	220
		600	175
Остальные	Любое	1000	120
		1500—2000	50

Измерение сопротивления изоляции многоэлементных изоляторов. Используют мегомметр на 2500 *в*. Сопротивление должно быть не менее 300 *Мом* для каждого элемента штыревого изолятора.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Состоящую из одноэлементных опорных или опорно-стержневых изоляторов изоляцию испытывают повышенным напряжением (см. табл. XIII.13). Если конструктивные расстояния между токоведущими частями разъединителей не достаточны, испытательное напряжение снижают на 20—30%. Для одностержневых изоляторов испытание повышенным напряжением необязательно. Методика испытаний приведена в гл. III.

3. Измерение сопротивления контактов постоянному току. Измерение проводится для разъединителей и отделителей на 110 *кв* и выше. Сопротивление не должно превышать 150% сопротивления, полученного при заводских испытаниях или приведенного в табл. XIII.1.

В «Объеме и нормах испытания электрооборудования» (1964 г.) предусмотрено также измерение сопротивления постоянному току разъединителей всех напряжений на токи 1000 *а* и выше. Методика приведена в гл. II. Измерения выполняются с помощью микроамперметра типа М-246, двойного моста или амперметра-вольтметра.

4. Определение времени движения подвижных частей короткозамыкателей и отделителей. У короткозамыкателей это испытание проводится при включении, у отделителей — при отключении. Отклонение от данных табл. XIII.2 — ±10%.

Используется электрический секундомер и схемы, приведенные на рис. XII.6.

5. Проверка работы разъединителя, короткозамыкателя и отделителя, имеющих электрический привод.

Проверка производится при напряжениях оперативного тока на зажимах привода, равных 100, 90 и 80% номинального. При каждом напряжении включение и отключение повторяют три — пять раз.

Таблица XIII.2

Предельная длительность движения подвижных частей отделителей и короткозамыкателей

Тип короткозамыкателя или отделителя	Тип привода	Время, *сек*, от подачи импульса до момента замыкания контактов при включении	размыкания контактов при отключении
ОД-35	ШПО	—	0,5
КЗ-35	ШПК	0,4	—
ОД-110	ШПО	—	0,7
КЗ-110	ШПК	0,4	—
ОД-150	ШПО	—	0,9
КЗ-150	ШПК	0,5	—
ОД-220	ШПО	—	1,0
КЗ-220	ШПК	0,5	—

У разъединителей и отделителей, работающих при токах, близких к номинальному, рекомендуется измерять усилия вытягивания ножа из неподвижного контакта разъединителя или отделителя («Объем и нормы испытаний электрооборудования», 1964). Наименьшие усилия вытягивания одного ножа из неподвижного контакта одного полюса разъединителя или отделителя при обезжиренных контактных поверхностях приведены в табл. XIII.3. Схема определения усилия вытягивания ножа разъединителя приведена на рис. XIII.1.

Таблица XIII.3

Наименьшие усилия вытягивания одного ножа из неподвижного контакта

Номинальный ток, *а*	Усилие вытягивания, *кг*
400—600	20
1000—2000	40
3000	80

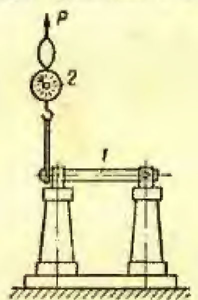


Рис. XIII.1. Схема определения усилия вытягивания ножа разъединителя:

1 — нож разъединителя; *2* — динамометр.

«Объем и нормы испытаний электрооборудования» (1964 г.) предусматривают, кроме перечисленных испытаний, измерение сопротивления постоянному току включающих и отключающих катушек.

Измерение сопротивления и испытание изоляции включающих и отключающих катушек и вторичных цепей привода выполняются в

соответствии с методикой, описанной в гл. III. При проверке приводов следует руководствоваться соответствующими рекомендациями гл. XII.

Перед проведением испытаний проводится внешний осмотр, при котором проверяют, нет ли видимых повреждений фарфоровых изоляторов, состояние подвижных и неподвижных контактов, а также привода. Если в цепи короткозамыкателя есть трансформатор тока, то проверяют состояние заземляющей шинки или провода и отсутствие заземления ножа короткозамыкателя помимо трансформатора тока.

Комплектные распределительные устройства внутренней и наружной установок (КРУ, КРУН) напряжением выше 1000 в

В соответствующих разделах настоящего справочника приведены объемы, нормы и методики приемо-сдаточных испытаний оборудования КРУ: масляных выключателей, выключателей нагрузки, силовых и измерительных трансформаторов, разрядников, предохранителей и др.

Кроме того, необходимо провести следующие испытания.

Таблица XIII.4

Предельные сопротивления постоянному току контактов токоведущих частей КРУ

Измеряемый элемент	Предельная величина
Контакты сборных шин	1,2 сопротивления шины той же длины без контакта
Разъединяющиеся контакты первичной цепи на:	
400 *а*	75 *мком*
600 *а*	60 *мком*
900 *а*	50 *мком*
1200 *а*	40 *мком*
Разъединяющиеся контакты вторичной цепи	4000 *мком*

1. Измерение сопротивления изоляции изоляционных элементов, выполненных из органических материалов. Измерения производятся мегомметром 2500 *в*. Величины сопротивления изоляции должны быть не ниже значений, приведенных в табл. XII.1.

Сопротивление изоляции вторичных цепей измеряют в соответствии с методикой гл. III.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции токоведущих частей полностью смонтированных ячеек. Для КРУ (КРУН) на 6 *кв* величина испытательного напряжения составляет 29 *кв*, для КРУ (КРУН) на 10 *кв* — 38 *кв*. Время приложения испытательного напряжения 1 *мин*. Испытания следует проводить до подключения силовых кабелей. Все тележки устанавливают в рабочее положение, включают масляные выключатели (выключатели нагрузки). Силовые трансформаторы должны быть отключены и выкачены тележки с трансформаторами напряжения. Методика испытания приведена в гл. III.

Испытание изоляции вторичных цепей проводится в соответствии с гл. III.

3. Измерение сопротивления постоянному току контактов сборных шин, разъединяющихся контактов первичной и вторичных цепей. Измерения проводятся выборочно, если позволяет конструкция КРУ. Измеренные значения должны быть не более величин, указанных в табл. XIII.4.

Измерения производятся двойным мостом, микроомметром М-246 или методом амперметра-вольтметра. Методика измерений приведена в гл. II.

4. Проверка выкатных частей и блокировок. Проводится четыре-пять вкатываний и выкатываний тележки КРУ, при этом проверяется работа механических блокировок, отсутствие перекосов и заеданий, соосность ножей и контактов. При попытке вывода тележки с включенным выключателем из рабочего положения выключатель должен отключиться до момента размыкания первичных разъединяющихся контактов. При выдвижении тележки из ячейки окна для доступа к токоведущим частям закрываются защитными шторками, при вкатывании тележки шторки автоматически открываются.

Проверяется действие блокировок, запрещающих вкатывание тележки в рабочее положение при включенном заземляющем разъединителе и включение заземляющего разъединителя в рабочем положении тележки.

Регулировка вторичных разъединяющихся контактов должна проводиться в соответствии с заводской инструкцией.

Сборные и соединительные шины

Шины в соответствии с ПУЭ должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений приведены в табл. XIII.13. Методика испытаний в гл. III.

2. Измерение переходного сопротивления контактов сборных и соединительных шин на ток 1000 *а* и более. Переходное сопротивление контактов измеряют выборочно (до 5% контактов). Сопротивление участка шины в месте контактного соединения не должно превышать сопротивление участка шин тех же длины и сечения более чем в 1,2 раза.

Оценку состояния контактных соединений шин обычно осуществляют методом сравнения падения напряжения на участках одинаковых длины и сечения, имеющих контактное соединение и без контактного соединения (рис. XIII.2). В качестве источника тока можно использовать нагрузочный или сварочный трансформатор. Падения напряжений на сравниваемых участках не должны отличаться друг от друга более чем на 20% (при неизменной величине тока). Контактные соединения можно проверить непосредственным измерением сопротивления постоянному току

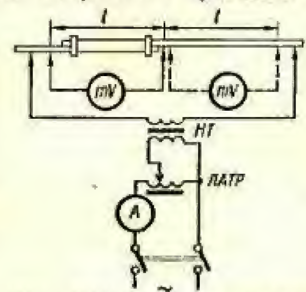


Рис. XIII.2. Схема проверки контактных соединений ошиновки:

НТ — нагрузочный трансформатор; ЛАТР — лабораторный автотрансформатор.

участков с контактным соединением и без него (двойным мостом, микроомметром М-246 или методом амперметра-вольтметра). Методика этих измерений приведена в гл. II.

3. Проверка болтовых контактных соединений. Выборочно проверяют качество затяжки болтов и вскрытие 2—3% соединений.

4. Испытание проходных изоляторов. Методика и нормы испытаний приводятся ниже.

Перед испытаниями ошиновки проводится наружный осмотр, при котором проверяют целость изоляторов, надежность крепления шин на изоляторах, качество правки и отсутствие прогибов шин, окраска шин и наличие зачищенных мест для наложения переносных заземлений.

Сухие реакторы

Объем приемо-сдаточных испытаний сухих реакторов, согласно ПУЭ, следующий.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно болтов крепления бетонных колонок проводится с помощью мегомметра на напряжение 1000—2500 *в*. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее 0,5 *Мом*.

2. Испытание опорной изоляции реактора повышенным напряжением промышленной частоты (величины испытательных напряжений см. табл. XIII.13). Продолжительность приложения напряжения 1 *мин*.

Испытанию подвергается опорная изоляция каждой из фаз по отношению к земле (при горизонтальной установке фаз) или нижней фазы по отношению к земле и всех фаз между собой (при вертикальной установке фаз).

Перед испытанием проводится внешний осмотр реактора: проверяют прочность вмазки в бетон крепежных болтов, состояние лакового покрытия колонок, нет ли трещин и сколов бетонных колонок, нет ли деформации витков и замыкания их между собой, убеждаются в исправности изоляции витков, целости опорных изоляторов и надежности их крепления к бетонным колонкам.

При осмотре проверяют направление намотки витков средней фазы, которое должно быть противоположным направлению обмотки крайних фаз.

Конденсаторы бумажно-масляные

ПУЭ предусматривает приемо-сдаточные испытания конденсаторов в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции с помощью мегомметра 2500 *в*. Величины сопротивления изоляции между выводами и относительно корпуса и отношение R_{60}/R_{15} не нормируются.

2. Измерение емкости, которая не должна отличаться от паспортных данных на величины, превышающие данные табл. XIII.5. Для измерения емкости конденсатора используют мост типа МД-16, микрофарадметр, метод амперметра-вольтметра и др. (см. гл. II). Измерение емкости конденсаторов, имеющих трехфазное исполнение или соединенных в треугольник, проводится в последовательности, приведенной в табл. XIII.6.

Емкость каждой фазы определяется по формулам:

$$C_{2\cdot3}=\frac{C_{3-1\cdot2}+C_{2-1\cdot3}-C_{1-2\cdot3}}{2}; \qquad (XIII.1)$$

$$C_{1\cdot2}=\frac{C_{1-2\cdot3}+C_{2-1\cdot3}-C_{3-1\cdot2}}{2}; \qquad (XIII.2)$$

$$C_{1\cdot3}=\frac{C_{1-2\cdot3}+C_{3-1\cdot2}-C_{2-1\cdot3}}{2}. \qquad (XIII.3)$$

Полная емкость трехфазного конденсатора

$$C=\frac{C_{2\cdot3}+C_{1\cdot2}+C_{1\cdot3}}{3}. \qquad (XIII.4)$$

Таблица XIII.5

Предельные величины изменения емкости конденсаторов

Тип конденсатора	Предельное изменение емкости элемента конденсатора, %
Конденсатор для повышения коэффициента мощности при рабочем напряжении, *кв*:	
3,15	+33
6,3	+16
10,5	+ 9
СМР-55/$\sqrt{3}$; СМ-70/$\sqrt{3}$; СМР-70/$\sqrt{3}$; ДМР-70	+10
СМР-133/$\sqrt{3}$; ОМРЗ-30; ОМРЗ-35	от +2 до — 1,5

Таблица XIII.6

Последовательность измерения емкости трехфазных конденсаторов

Условный номер вывода трехфазного конденсатора	Замкнутые накоротко зажимы	Выводы, между которыми измеряют емкость	Обозначение измеренной емкости
1	2—3	1—2.3	$C_{1-2.3}$
2	1—2	3—1.2	$C_{3-1.2}$
3	1—3	2—1.3	$C_{2-1.3}$

Емкости отдельных фаз конденсаторов не должны отличаться между собой более чем на 5%. Уменьшение емкости сверх нормированных значений свидетельствует об обрыве токоведущих частей конденсатора, а увеличение — о частичном пробое секции.

При сравнении величин емкости, измеренных при различных температурах, следует вводить температурные поправки. На практике принимают поправки, составляющие 0,5—0,65% на каждые 10° С изменения температуры (увеличение емкости с ростом температуры).

3. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь проводится для конденсаторов связи, конденсаторов отбора мощности и делительных конденсаторов. Измеренные величины не должны превышать следующие значения: 0,4 — для СМР-55/$\sqrt{3}$; СМ-70/$\sqrt{3}$; СМР-70/$\sqrt{3}$; ДМР-70 и 0,3 — для СМР133/$\sqrt{3}$; ОМРЗ-30; ОМРЗ-35.

Если нет испытательных трансформаторов достаточной мощности, измерение диэлектрических потерь можно выполнять при пониженном напряжении.

Методика измерения тангенса угла диэлектрических потерь приведена в гл. III. Измерение выполняют обычно мостом МД-16 по нормальной

Таблица XIII.7

Испытательные напряжения промышленной частоты силовых конденсаторов

Место измерения	Номинальное напряжение, *кв*						
	0,22	0,38	0,5	1,05	3,15	6,3	10,5
Между обкладками конденсатора	0,42	0,72	0,95	2	5,9	11,8	20
На корпус	2,1	2,1	2,1	4,3	15,8	22,3	30

схеме. На время измерений нижний фланец элемента конденсатора устанавливают на резиновый коврик или на другой изоляционный материал сопротивлением не менее 1 *Мом*.

В тех случаях, когда конденсаторы полностью собраны в колонку, измерение проводят по нормальной схеме при отсоединенных проводах линии передачи и высокочастотного поста.

В интервале положительных рабочих температур (до 40° С) диэлектрические потери изменяются весьма незначительно, так что для этого интервала температурный пересчет диэлектрических потерь не нужен.

4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты, величины которого для силовых конденсаторов приведены в табл. XIII.7, а для конденсаторов связи таковы:

Конденсатор	СМР-55/$\sqrt{3}$ ДМР-70	СМР-70/$\sqrt{3}$ СМ-70/$\sqrt{3}$	СМР-133/$\sqrt{3}$	ОМРЗ-30	ОМРЗ-35
Испытательное напряжение элемента, *кв*	144	162	257	59	69

Продолжительность приложения напряжения 1 *мин*. Изоляция силовых конденсаторов с одним выводом, соединенным с корпусом, не подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты относительно корпуса.

Если нет источника напряжения достаточной мощности, испытания переменным током можно заменить испытаниями выпрямленным током, удвоенной величины.

Изоляция фарфоровой подставки испытывается напряжением 70 *кв* промышленной частоты.

Схемы испытания изоляции силовых конденсаторов повышенным напряжением промышленной частоты приведены на рис. XIII.3. Методика испытаний приведена в гл. III.

5. Испытание батареи силовых конденсаторов трехкратным включением на номинальное напряжение с контролем величины токов во всех фазах. Разница токов в фазах не должна превышать 5%. Перед испытанием проверяют целость фарфора, убеждаются, что все болтовые соединения надежны, нет подтеков масла, вспучивания баков и т. п.

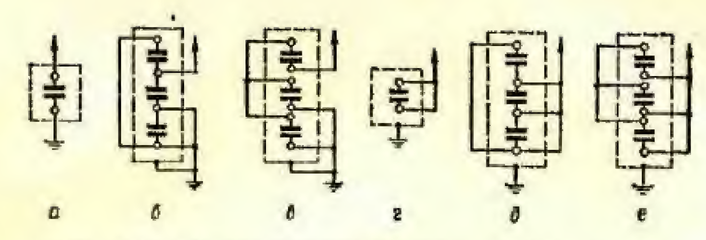


Рис. XIII.3. Схемы испытаний изоляции силовых конденсаторов повышенным напряжением переменного тока:

а, б и *в* — между обкладками соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенных в треугольник и соединенных в звезду; *г, д* и *е* — относительно корпуса соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенных в треугольник и соединенных в звезду.

Разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений

Вентильные разрядники

Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию вентильные разрядники (ГОСТ 8934-58, ГОСТ 10257-62) подвергают приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления элемента разрядника, осуществляемое с помощью мегомметра на 2500 *в*. Величина сопротивления не нормируется. Измеренные значения сопоставляются с результатами измерений аналогичных элементов или с данными заводских измерений.

2. Измерение тока проводимости или тока утечки (рис. XIII.4.)

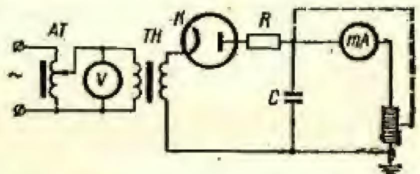


Рис. XIII.4. Схема измерения тока утечки вентильного разрядника.

В качестве источника выпрямленного напряжения можно использовать испытательную установку типа АИИ-70. Емкость *С* необходима для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. По данным завода «Пролетарий», в схемах однополупериодного выпрямления точность измерений токов проводимости приемлема, если величина емкости — порядка 0,05—0,1 *мкф* — для элементов разрядников с номинальным напряжением до 10 *кв* — и 0,01—0,03 *мкф* для элементов разрядников на номинальное напряжение, превышающее 10 *кв*. При измерениях токов утечки разрядников типа РВП емкость должна быть порядка 0,001 *мкф*. Согласно ПУЭ, сглаживающая емкость должна приниматься равной 0,1—0,2 *мкф*.

В качестве емкости *С* можно использовать конденсаторы типа КБГ, силовые конденсаторы для улучшения cos φ и др.

Экранирующий проводник *Э* позволяет исключить из показаний микроамперметра токи утечки по поверхности изолятора.

Испытательное напряжение рекомендуется измерять на стороне высокого напряжения. Для этого применяют градуированные киловольтметры и вольтметры с добавочными сопротивлениями, микроамперметры,

Таблица XIII.8

Предельные величины тока проводимости (утечки) элементов вентильных разрядников

Тип разрядника	Выпрямленное напряжение, приложенное к элементу разрядника, *кв*	Токи проводимости элемента разрядника, *мка*		Верхний предел тока утечки, *мка*
		нижний предел	верхний предел	
РВВМ-3	4			
РВВМ-6	6			
РВВМ-10	10			
РВС-15	16	400	620	—
РВС-20	20			
РВС-33	32			
РВС-35	32			
РВМ-3	4,5			
РВМ-6	9	900	1300	—
РВМ-10	13,5			
РВП-3	4	—	—	
РВП-6	6	—	—	10
РВП-10	10	—	—	
РВМГ-110, РВМГ-150, РВМГ-220 (элемент разрядников)	30	900	1300	
РВМК (основной элемент)	18	900	1300	—
РВМК (искровой элемент)	28	900	1300	—

Примечание. Пульсация напряжения допустима не более 10%.

включенные последовательно с измерительными нелинейными сопротивлениями серии СН, имеющими коэффициент нелинейности, близкий к коэффициенту нелинейности шунтирующих сопротивлений вентильных разрядников. Измерительные сопротивления подбираются так, чтобы прохождению через микроамперметр тока 600 *мка* соответствовало определенное значение испытательного напряжения: например, при включении сопротивления типа СН-10—10 *кв*. При измерении этим методом отпадает необходимость введения температурных поправок.

Испытательное напряжение можно измерять и на низкой стороне вольтметром, градуировка которого проведена предварительно при полностью собранной испытательной схеме с учетом токов нагрузки элементов схемы при напряжении, близком к номинальному.

Предельные величины тока проводимости (утечки) элементов вентильных разрядников и величины прикладываемых при измерениях напряжений приведены в табл. XIII.8.

Для разрядников других типов допустимые пределы тока проводимости (тока утечки) устанавливаются согласно заводским данным. Если измерения тока проводимости проводились при температуре окружающего воздуха, отличающейся от +20° С, то в результат измерения следует вводить температурную поправку. Практически, по данным завода «Пролетарий», поправочный коэффициент для тока проводимости составляет 0,3% на каждый градус изменения температуры. При температуре окружающей среды выше + 20° С поправка отрицательная, при температуре ниже + 20° С — положительная. Измерения следует проводить в сухую погоду при температуре не ниже 5—10° С.

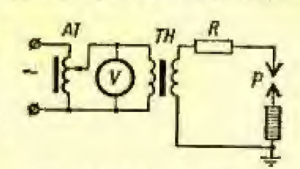


Рис. XIII.5. Схема измерения пробивного напряжения вентильного разрядника.

Повышенное значение тока проводимости свидетельствует, как правило, о нарушении герметичности разрядника и проникновении внутрь его влаги. Пониженное значение тока проводимости показывает, что нарушен контакт или есть другие механические повреждения шунтирующих сопротивлений.

Таблица XIII.9

Допустимые величины пробивных напряжений промышленной частоты искровых промежутков элементов вентильных разрядников

Тип разрядника	Пределы, *кв*	
	нижний	верхний
РВП-3	9	11
РВП-6	16	19
РВП-10	26	30,5
РВВМ-3	7,5	9,5
РВВМ-6	15	18
РВВМ-10	25	30
РВМ-3	7,5	9,5
РВМ-6	15	18
РВМ-10	25	30
РВС-15	38	48
РВС-20	49	60,5
РВС-35	78	98
РВС-33	70	80
РВМГ-110, РВМГ-150, ВРМГ-220 (элемент разрядников)	62	69

3. Измерение пробивных напряжений при промышленной частоте. Для разрядников типа РВП пользуются схемой, приведенной на рис. XIII. 5. Ограничивающее сопротивление *R* принимается не менее 10 *ком* на 1 *кв* испытательного напряжения. Скорость повышения напряжения пробоя ограничено заводом в пределах 0,1—0,5 *сек* при интервале перед повторным пробоем не менее 10 *сек*. Измерять пробивное напряжение при промышленной частоте разрядников, имеющих шунтирующие сопротивления (РВС, РВВМ, РВМ и др.), можно только с помощью специальной испытательной установки по методике, указанной в заводской или

специальной инструкции. Допустимые величины пробивных напряжений искровых промежутков элементов вентильных разрядников при промышленной частоте приведены в табл. XIII.9.

Для остальных типов разрядников допустимые пределы пробивных напряжений устанавливаются согласно заводским данным. Перед испытаниями вентильных разрядников проводится их внешний осмотр, проверяют, нет ли трещин на фарфоре, загрязнений, целы ли уплотнения.

Трубчатые разрядники

Трубчатые разрядники (ГОСТ 11475-69) перед вводом в эксплуатацию подвергают приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме согласно ПУЭ.

1. Измерение сопротивления изоляции разрядников выполняются с помощью мегомметра на 2500 *в* перед установкой разрядника на опору. Сопротивление изоляции должно быть не менее 9000 *Мом* для разрядников на 110 *кв*, 7000 *Мом* — для разрядников на 35 *кв* и 3000 *Мом* для разрядников на 3—10 *кв*.

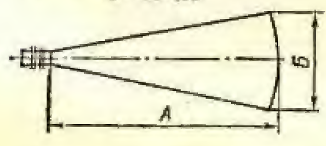
2. Измерение внутреннего искрового промежутка перед установкой разрядника на опору. Внутренний искровой промежуток (расстояние внутри трубки между пластинчатым и стержневым электродами) должен соответствовать номинальным величинам с допусками: ± 5 *мм* — для разрядников на 35 и 110 *кв*, ±3 *мм* — для разрядников на 3—10 *кв*

3. Измерение внешнего искрового промежутка осуществляется на опоре после установки разрядника. Измеренная величина должна быть равной проектному значению.

4. Проверка расположения зон выхлопа, проводимая на опоре после установки разрядника. Зоны выхлопа разрядников не должны пересекаться и в них не должны находиться элементы конструкции и провода, имеющие отличный от открытого конца разрядника потенциал.

Таблица XIII.10

Ориентировочные размеры, *м*, зон выхлопа трубчатых разрядников типа РТВ 6—35 *кв*



Номинальное напряжение разрядника, *кв*	*А*	*Б*
6	1,8	0,75
10	2,0	0,85
15	2,3	0,9
20	2,5	1,0
35	3,0	1,5

Ориентировочные размеры зоны выхлопа для разрядников типа РТВ на 6—35 *кв* приведены в табл. XIII.10.

Перед установкой разрядника на опору проверяется состояние поверхности разрядников. Наружная и внутренняя поверхности разрядника должны быть ровными, без трещин и расслоений.

Вводы и проходные изоляторы

Вводы и проходные изоляторы перед началом эксплуатации необходимо подвергнуть приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме (согласно ПУЭ).

1. Измерение сопротивления изоляции у вводов с бумажно-масляной изоляцией осуществляется с помощью мегомметра на 1000—2500 *в*. Измеряется сопротивление изоляции последних обкладок вводов с проходными изоляторами относительно соединительной втулки ввода. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее 1000 *Мом*.

Таблица XIII.11

Предельные значения tg δ, %, вводов и проходных изоляторов

Объект испытания и вид основной изоляции	Номинальное напряжение, *кв*			
	3—15	20—35	60—110	150—220
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с маслобарьерной изоляцией	—	3	2	2
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с бумажно-масляной изоляцией	—	1	1	—
Мастиконаполненные вводы с бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	—
Вводы и проходные изоляторы с бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	—

2. Определение тангенса угла диэлектрических потерь вводов и проходных изоляторов, с основной изоляцией из твердого органического материала, кабельных или жидких масс.

При испытательном напряжении 10 *кв* и температуре 10—30° С тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции и измерительного конденсатора вводов и проходных изоляторов не должен превышать величин, приведенных в табл. XIII.11.

У вводов и проходных изоляторов с потенциометрическим устройством отдельно находят тангенс угла диэлектрических потерь изоляции основной и измерительной обкладок. Для вводов и проходных изоляторов с бумажно-масляной изоляцией рекомендуется определять тангенс угла диэлектрических потерь последней обкладки относительно соединительной втулки при напряжении 3—4 *кв*. Методика измерения tg δ приведена в гл. III.

При определении тангенса угла диэлектрических потерь вводов и проходных изоляторов рекомендуется измерять емкость. Нахождение tg δ вводов проводится до установки их на аппарат. При эксплуатационных испытаниях, а также в случаях необходимости и во время приемо-сдаточных испытаний tgδ находят для вводов, установленных на оборудовании. Емкостные схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов приведены на рис. XIII.6. Схема испытательной установки для определения тангенса угла диэлектрических потерь приведена на рис. XIII.7. Схемы нахождения tg δ для маслонаполненных вводов различного конструктивного исполнения приведены в табл. XIII.12. При определении tg δ трансформаторных маслобарьерных вводов, не имеющих вывода от последней заземленной обкладки, необходимо принять меры, исключающие влияние обмоток силового трансформатора на результаты измерений. Для этого в большинстве случаев достаточно временно изолировать соединительную втулку ввода от бака трансформатора.

Таблица XIII.12

Схемы определения tg δ изоляции маслонаполненных вводов

Емкостная схема замещения ввода	Измеряемый участок изоляции ввода	Мостовая схема	Присоединение точек мостовой измерительной схемы			Примечание
			A	B	C	
Рис. XIII.6, *а*	Основная емкость ввода C_1	Перевернутая	Заземлена	К токоведущему стержню ввода	—	$B_п$ заземлен. Применяется для нахождения tg δ вводов на выключателе
	То же	Нормальная	К токоведущему стержню ввода	К $B_п$	Заземлена	Применяется для нахождения tg δ вводов силовых трансформаторов (с учетом погрешности от C_2).
	Изоляция измерительного конденсатора C_2	Перевернутая	Заземлена	К $B_п$	К токоведущему стержню ввода	—
Рис. XIII.6, *б*	Основная емкость ввода C_1	Нормальная	К токоведущему стержню ввода	К $B_{изм}$	Заземлена	$B_{изм}$ разземлен
	Изоляция последней обкладки относительно соединительной втулки $C_{вт}$	Перевернутая	Заземлена	К $B_{изм}$	К токоведущему стержню ввода	$B_{изм}$ разземлен

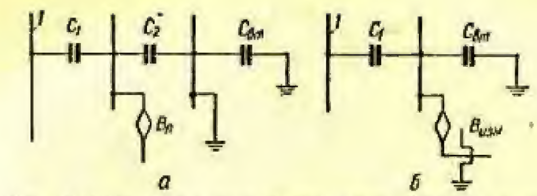


Рис. XIII.6. Емкостные схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов:

C_1 — основная изоляция ввода; C_2 — изоляция измерительного конденсатора; $C_{вт}$ — изоляция последней обкладки относительно соединительной втулки; $B_п$ — вывод потенциометрического устройства; $B_{изм}$ — измерительный вывод; *I* — токоведущий стержень ввода.

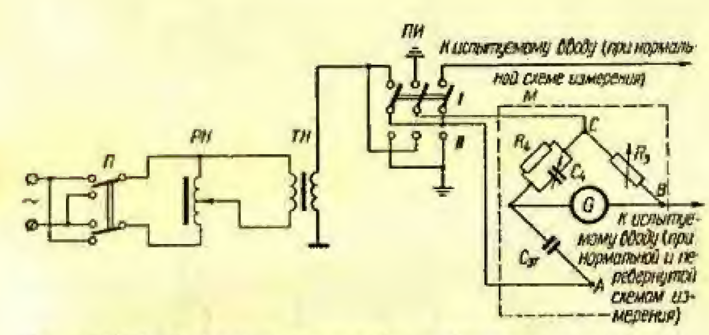


Рис. XIII.7. Схема испытательной установки для измерения диэлектрических потерь вводов.

П — переключатель; *РН* — регулятор напряжения; *ТН* — трансформатор напряжения; *ПИ* — переключатель схемы испытания; *М* — мост для измерения угла диэлектрических потерь; *I* — нормальная схема; *II* — перевернутая схема.

Таблица XIII.13

Испытательные напряжения, *кв*, промышленной частоты одноэлементных опорных и проходных изоляторов внутренней и наружной установки

Тип изоляции изолятора	Испытательное напряжение, *кв*, при различных номинальных напряжениях изоляторов, *кв*								
	3	6	10	15	20	35	110	150	220
Нормальная	25	32	42	57	68	100	265	340	490
Облегченная	14	21	32	48	—	—	—	—	—

Таблица XIII.14

Предельные величины показателей качества трансформаторного масла

№	Показатели качества масла	Свежее масло перед заливкой в оборудование			Чистое сухое масло непосредственно после заливки в оборудование			Эксплуатационное масло всех трех сортов
		по ГОСТу 982-56	по ГОСТу 10121-62	по МРТУ 12 Н № 95-64	по ГОСТу 982-56	по ГОСТу 10121-62	по МРТУ 12Н № 95-64	
1.	Минимальное пробивное напряжение масла, *кв*, определяемое в стандартном сосуде для трансформаторов, аппаратов и изоляторов с напряжением, *кв*:							
	15 *кв*	—	—	—	25	25	25	20
	15—35	—	—	—	30	30	30	25
	60—220	—	—	—	40	40	40	35
	330	—	—	—	50	50	50	45
2.	Содержание механических примесей		Нет			Нет		Нет (визуально)
3.	Содержание взвешенного угля:							
	в трансформаторах		—			Нет		Нет
	в выключателях		—			Нет		Очень мало
4.	Кислотное число, *мг* KOH, на 1 *г* масла	≤0,05	≤0,02	≤0,02	≤0,05	≤0,02	≤0,02	≤0,4
5.	Реакция водной вытяжки (водорастворимые или низкомолекулярные кислоты)		Нейтральная			Нейтральная		Нейтральная (не более 0,01 *мг* KOH водорастворимых кислот)
6.	Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	≥135	≥150	≥145	≥135	≥150	≥145	На ≤5° С ниже первоначальной
7.	Вязкость кинематическая, *сек*, при							
	20° С	≤30	23—28	≤30	≤30	23—28	<30	—
	50° С	≤9,6	8—9	≤9,5	≤9,6	8—9	<9,5	—
8.	Зольность, %	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,005	<0,005	Не нормируется
9.	Наивысшая температура застывания масла, °С:							
	для выключателей, работающих при —20° С	—35	—35	—35	—35	—35	—35	—35
	для выключателей и трансформаторов, работающих при температуре ниже —20° С	—45	—45	—45	—45	—45	—45	—45
	для остальных трансформаторов	Не нормируется						
10.	Натровая проба с подкислением, баллы	2	1	1	Не нормируется			Не нормируется
11.	Прозрачность при +5° С	Прозрачно			Не нормируется			Не нормируется
12.	Содержание в 1 *г* масла водорастворимых кислот, *мг* KOH:							
	нелетучие	≤0,005	≤0,005	≤0,003	Не нормируется			Не нормируется
	летучие	≤0,005	≤0,005	≤0,003	Не нормируется			Не нормируется
13.	Общая стабильность против окисления:							
	количество осадка после окисления, %	≤0,1	Нет	≤0,4	Не нормируется			Не нормируется
	кислотное число окисленного масла, *мг* KOH в 1 *г* масла	≤0,35	≤0,1	≤0,42	Не нормируется			Не нормируется

№	Показатели качества масла	Свежее масло перед заливкой в оборудование			Чистое сухое масло непосредственно после заливки в оборудование			Эксплуатационное масло всех трех сортов
		по ГОСТу 982-56	по ГОСТу 10121-62	по МРТУ 12Н № 95-64	по ГОСТу 982-56	по ГОСТу 10121-62	по МРТУ 12Н № 95-62	
14.	Содержание серы, %	Не определяется	⩽0,6	⩽0,2	Не нормируется			Не нормируется
15.	Предельный tg δ, %, при напряженности электрического поля 1 *кв/мм* и температуре:							
	20° С	0,3	0,3	0,15	0,4	0,4	0,3	2
	70° С	2,5	2,5	1,2	3,5	3,5	2,5	7

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений проходных изоляторов и вводов, испытываемых отдельно, приведены в табл. XIII.13, и совместно с аппаратом — в табл. XII.2. Вводы, установленные на трансформаторах, испытываются совместно с обмотками последних по нормам, приведенным в табл. IX.9. Продолжительность приложения испытательного напряжения для вводов, испытываемых отдельно или установленных на аппарате, составляет 1 *мин*, если основная изоляция керамическая или жидкая, и 5 *мин*, если основная изоляция состоит из органических твердых материалов или кабельных масс. Продолжительность приложения испытательного напряжения для вводов, испытываемых совместно с обмотками трансформаторов, составляет 1 *мин*.

Методика испытаний повышенным напряжением приведена в гл. III.

4. Испытание трансформаторного масла из маслонаполненных вводов. Вновь заливаемое масло должно удовлетворять требованиям, приведенным в табл. XIII.14 После монтажа проводится сокращенный анализ масла по п. 1—6 табл. XIII.14, а у вводов с повышенным значением тангенса угла диэлектрических потерь — еще и испытания по п. 15 табл. XIII.14.

Испытаниям вводов и проходных изоляторов предшествует наружный осмотр, при котором проверяют состояние и целость фарфора, состояние мастики во вводах, уровень масла, состояние уплотнений, отсутствие течи масла, наличие и исправность необходимой арматуры, состояние выводов потенциометрического устройства и устройства для измерений и т. п.

Подвесные и опорные фарфоровые изоляторы

Подвесные и опорные фарфоровые изоляторы, согласно ПУЭ, подвергаются приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции подвесных и многоэлементных изоляторов осуществляется с помощью мегомметра на 2500 *в*. Сопротивление изоляции каждого подвесного изолятора или каждого элемента штыревого изолятора должно быть не менее 300 *Мом*.

Проводить измерения следует при положительных температурах, сухой и чистой поверхности изоляторов.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений одноэлементных опорных и проходных изоляторов внутренней и наружной установки приведены в табл. XIII.13.

Многоэлементные опорные и подвесные изоляторы испытывают напряжением промышленной частоты 50 *кв*, прикладываемым к каждому элементу изолятора. Длительность воздействия испытательным напряжением 1 *мин*. Схема испытания повышенным напряжением подвесных и опорных многоэлементных изоляторов приведена на рис. XIII.8. Необходимо, чтобы в местах подвода испытательного напряжения к элементам изолятора был хороший контакт, что достигается наложением бандажей из голого гибкого провода. Для ускорения испытания изоляторов получили распространение специальные пружинящие захваты, накладываемые на элементы испытуемых изоляторов. Пробой изоляции элементов изолятора может быть отмечен по отклонению стрелки амперметра.

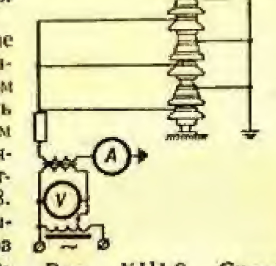


Рис. XIII.8. Схема испытания изоляторов повышенным напряжением промышленной частоты.

Для многоэлементных опорных и подвесных изоляторов обязательно лишь одно из испытаний, приведенных в п. 1 и 2. Для опорно-стержневых изоляторов испытания не обязательны. Электрические испытания стеклянных подвесных изоляторов не проводятся.

Перед испытаниями изоляторы подвергают наружному осмотру, при котором проверяют целость фарфора и металлической арматуры, надежность армировки металлических деталей изоляторов, параллельность колпачка и фланца у опорных изоляторов и т. п.

Трансформаторное масло

Свежее трансформаторное масло перед заливкой в оборудование должно пройти испытания по всем показателям, приведенным в табл. XIII.14.

Масло, отбираемое из аппаратов перед их включением после монтажа, подвергают сокращенному анализу в объеме, предусмотренном п. 1—6 табл. XIII.14.

Для определения пробивного напряжения трансформаторного масла обычно используют аппарат АИИ-70 (см. гл. IV). Аппарат имеет фарфоровый сосуд, в который заливают 0,5 *л* подлежащего испытанию масла. В сосуде укреплены два латунных электрода диаметром 25 *мм*; расстояние между электродами, т. е. толщина слоя масла между ними, должна быть 2,5 *мм* (расстояние от электрода до дна и стенок сосуда, в котором проводят испытание, должно быть не меньше 15 *мм*).

Пробивное напряжение трансформаторного масла определяют следующим образом.

Перед испытанием банку или бутылку с пробой масла несколько раз медленно поворачивают вверх дном, чтобы в масле не было пузырьков воздуха.

Фарфоровый сосуд, в котором испытывают масло, вместе с электродами три раза ополаскивают маслом из пробы. При третьем ополаскивании масло льют на электроды, так как поверхность их после испытаний покрыта подгорелыми частицами масла.

После каждого ополаскивания масло полностью сливают.

Масло льют на стенки сосуда тонкой струей, чтобы не образовались воздушные пузырьки. Уровень залитого масла в сосуде должен быть на 15 *мм* выше верхнего края электрода.

Залитому в сосуд маслу дают отстояться в течение 10 *мин*, чтобы из него вышли пузырьки воздуха. Затем напряжение на электродах плавно повышают со скоростью 1—2 *кв/сек* до пробоя, который отмечается искрой между электродами и спаданием стрелки вольтметра до нуля. После пробоя масла напряжение снижают до нуля и вновь увеличивают до следующего пробоя (всего шесть пробоев). После каждого пробоя из промежутка между электродами стеклянным или металлическим чистым стержнем удаляют обуглероженные частицы масла. Затем жидкости дают отстояться в течение 10 *мин*.

Напряжение, при котором происходит первый пробой, во внимание не принимают. Пробивное напряжение определяют как среднее арифметическое пяти значений напряжений.

При заливке в оборудование свежих кондиционных масел разных марок смесь должна проверяться на стабильность в пропорциях смешения. Стабильность смеси должна быть не хуже стабильности одного из смешиваемых масел, обладающего наименьшей стабильностью.

Глава XIV

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Объем, нормы и методы испытаний

Вводимые в эксплуатацию силовые кабельные линии, согласно ПУЭ, подвергают испытаниям в следующем объеме.

1. Проверка целости жил и фазировка.

Целость жил и соответствие фаз кабеля проверяют прозвонкой (с помощью телефонных трубок, мегомметра и т. п.). При параллельно включенных (под одни зажимы) кабелях правильность их включения проверяют до подачи напряжения. Убеждаются в том, что нет коротких замыканий между фазами, что подключение кабелей к ошиновке выполнено в соответствии с маркировкой или расцветкой шин. Перед включением кабельной линии в эксплуатацию производится фазировка ее под напряжением. Для этого к одному концу на кабель подается напряжение, а на другом конце проводится фазировка методами, рассмотренными в гл. IX.

При фазировке нет необходимости устанавливать перемычки для получения замкнутого контура, так как фазируемые кабели на одном конце имеют электрическую связь. Недопустимо соединение двух разных фаз на другом конце кабеля, так как это приводит к короткому замыканию.

2. Испытание повышенным напряжением выпрямленного тока.

Состояние силовых кабелей на напряжение до 1000 *в* оценивают путем приложения к ним испытательного напряжения от мегомметра на 2500 *в*. Испытание повышенным напряжением кабелей на напряжение выше 1000 *в* проводится с помощью различных выпрямительных установок (см. гл. IV). Методика испытаний повышенным напряжением выпрямленного тока приведена в гл. III.

Наименьшие допустимые величины испытательного напряжения и продолжительности испытаний:

Кабели с бумажной изоляцией

Номинальное напряжение кабеля, *кв*	3—10	20—35	110	220
Испытательное напряжение, *кв*	$6U_{ном}$	$5U_{ном}$	300	400
Продолжительность испытания, *мин*	10	10	15	15

Кабели с резиновой изоляцией

Номинальное напряжение кабеля, *кв*	3	6
Испытательное напряжение, *кв*	6	12
Продолжительность испытания, *мин*	5	5

Кабели считаются выдержавшими испытания, если не было пробоя, скользящих разрядов и толчков тока утечки или его нарастания, после достижения установившейся величины.

У трехжильных кабелей испытанию подвергается изоляция каждой жилы относительно металлической оболочки и других заземленных жил. У кабелей же однофазных или с отдельно освинцованными жилами испытывается изоляция жилы относительно металлической оболочки.

Перед испытаниями и после них рекомендуется измерить сопротивления изоляции кабеля с помощью мегомметра, что позволяет выявить грубые дефекты и различного рода упущения в выполнении монтажных работ. Дополнительным критерием оценки состояния изоляции кабеля является величина тока утечки на выпрямленном напряжении. Величина тока утечки не нормируется.

Кабельная линия может быть включена, если измеренные токи утечки имеют стабильное значение и не превышают 500 *мка* для линий с номинальным напряжением до 10 *кв* и 800 *мка* — для линий 20—35 *кв*. Помимо абсолютной величины токов утечки, при оценке изоляции рекомендуется учитывать коэффициент асимметрии в тех случаях, когда измеренные величины токов утечки близки к указанным выше предельным значениям. На основании опытных данных считают, что коэффициент асимметрии (отношение максимального значения тока утечки к минимальному для разных жил кабеля) не должен превышать 1,5—2,0. Для исправной изоляции силового кабеля характерно уменьшение тока утечки в зависимости от длительности приложения испытательного напряжения. У силового кабеля с дефектной изоляцией в процессе испытания ток утечки увеличивается. При заметном возрастании тока утечки продолжительность испытания увеличивают до 20 *мин*. При дальнейшем повышении токов утечки испытание ведут до пробоя изоляции кабеля.

Испытания должны проводиться с соблюдением всех требований техники безопасности. На время испытаний все работы на кабельной трассе необходимо прекратить.

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты можно выполнить для кабельных линий напряжением 110—220 *кв* взамен испытания выпрямленным током. Величина испытательного напряжения для линий 110 *кв* — 250 *кв* (145 *кв* по отношению к земле), для линий 220 *кв* — 500 *кв* (288 *кв* по отношению к земле). Продолжительность испытания 5 *мин*.

4. Измерение сопротивления заземления проводится на линиях всех напряжений у концевых заделок, а на линиях напряжением 110—220 *кв* также у металлических конструкций кабельных колодцев и подпиточных пунктов.

Для маслонаполненных и газонаполненных кабелей дополнительно определяются характеристики масла из всех элементов линии, испытания на наличие нерастворенного воздуха на всех секциях линий, опробование сигнализации давления масла, испытание подпитывающих агрегатов и автоматического подогрева концевых муфт, контроль состояния антикоррозионного покрытия стального трубопровода и другие в соответствии с ПУЭ и «Объемом и нормами испытания электрооборудования» (1964 г.).

Перед испытанием кабельных линий проводят внешний осмотр: проверяют правильность прокладки и монтажа кабелей, состояние концевых разделок (концевые разделки должны быть чистыми, не иметь следов подтека заливочной массы, трещин и вспучивания последней, сколов изоляторов и т. п.), достаточность изоляционных расстояний между жилами кабеля и заземленными элементами, надежность заземления концевых воронок, металлической оболочки и брони кабеля.

Определение мест повреждения и трасс кабельных линий

Методы определения места повреждения силовых кабельных линий могут быть разделены на две группы: относительные методы, позволяющие определить расстояние от места измерения до места повреждения, и абсолютные методы, позволяющие указать место повреждения на трассе (географически). Обычно для быстрого определения места повреждения используется один из относительных методов, а затем с помощью абсолютного метода уточняется место на трассе. Из относительных методов наиболее распространены импульсный, петлевой, колебательного разряда, емкостный; из абсолютных методов — индукционный и акустический. В табл. XIV.1 даны рекомендуемые методы определения места повреждения кабеля в зависимости от характера повреждения.

Большинство этих методов применяется после прожигания поврежденного места кабельной линии для снижения величины переходного сопротивления.

Прожигание

Прожигание, как правило, целесообразно вести ступенями, изменяя источники питания по мере снижения напряжения пробоя и сопротивления в месте повреждения. Для прожигания используются кенотронные и газотронные установки, генераторы звуковой частоты, испытательные трансформаторы, резонансные аппараты, сварочные и силовые трансформаторы и др. Существует большое количество различных прожигательных установок. Ниже приводится описание одной из передвижных установок Мосэнерго (рис. XIV.1).

Установка состоит из следующих основных элементов: 1) кенотронного выпрямителя для испытания и предварительного прожигания изоляции в месте повреждения кабельной линии; 2) газотронного выпрямителя для дожигания изоляции в месте повреждения до малых переходных сопротивлений; 3) генератора звуковой частоты для индукционного метода измерения и прожигания места повреждения кабеля в раскопке.

Прожигание изоляции в месте повреждении кабеля следует начинать по кенотронной схеме и вести его до тех пор, пока напряжение прожигания снизится до 15 *кв*. После этого, замкнув рубильник $П_2$, подключить газотронную часть схемы.

В процессе прожигания необходимо придерживаться следующего порядка. Присоединив установку к кабельной линии, в первую очередь рекомендуется включить накал газотронов *Г*, так как им необходим прогрев в течение 5 *мин*.

Накал кенотронной лампы *К* регулируют по вольтметру *V*. После этого повышают напряжение, наблюдая по вольтметру за напряжением. Пока величина тока прожигания не превышает 80 *ма*, за кенотронной лампой особых наблюдений не требуется. Если же ток возрастает до 100—150 *ма*, анод лампы быстро накаляется, что может привести к его разрушению. Напряжение при прожигании необходимо поддерживать таким, чтобы ток не превышал 100 *ма*, т. е. чтобы анод кенотрона не раскалялся до красного свечения.

После снижения напряжения пробоя до 15 *кв* газотронная часть подключается следующим образом: включают магнитный пускатель *МП*, повышают напряжение на трансформаторе TH_1 до максимального значения и замыкают рубильник $П_2$, соединяющий обе части устройства (кенотронную и газотронную) на параллельную работу.

Таблица XIV.1

Рекомендуемые методы определения места повреждения кабеля

Переходное сопротивление в месте повреждения	Пробивное напряжение в месте повреждения	Характер повреждения кабеля	Рекомендуемый метод
0—100 *ом*	0		Импульсный, акустический
40—200 *ом*	0		Импульсный, петлевой, акустический
0—100 *ом*	0		Импульсный, акустический
Сотни мегомов	Выше испытательного		Импульсный, емкостный
Сотни мегомов	Выше испытательного		Импульсный, емкостный
5000 *ом*	Меньше испытательного		Импульсный, емкостный, акустический
Сотни мегомов	От 8 *кв* до испытательного	Муфта	Колебательного разряда, акустический

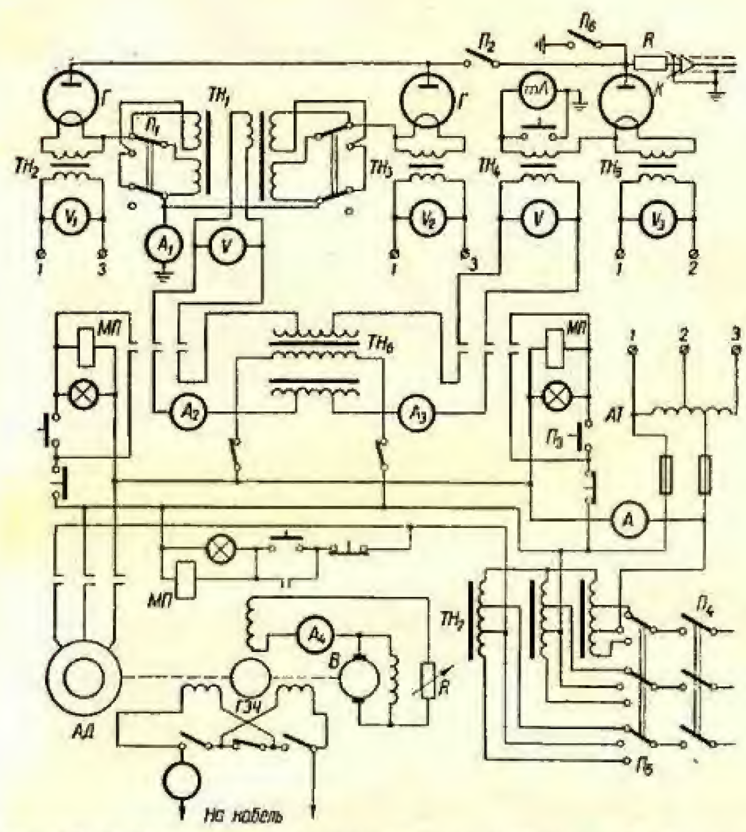


Рис. XIV.1. Принципиальная схема кенотронно-газотронной установки Мосэнерго:

Г — газотроны типа ВГ-237; *К* — кенотрон типа КР-220; *mA* — миллиамперметр типа МЭ1 на 100 *ма*; A_1 — амперметр типа М9 на 5 *а*; A_2, A_3 — амперметры нагрузки на 100 *а*; A_4 — амперметр на 1 *а*; V_1, V_2 — вольтметры типа ЭМ-220/6; V_3 — вольтметр типа МЭ-220/18; $П_1$ — переключатель двухполюсный на 5—10 *кв*; $П_2$ — рубильник однополюсный на 5 *а*; $П_3$ — кнопка управления; $П_4$ — рубильник трехполюсный на 500 *в*, 50 *а*; $П_5$ — переключатель трехполюсный на 120—220—380 *в*; $П_6$ — заземляющий разъединитель, $ТН_1$ — трансформатор газотрона напряжением 5—10 *кв*; 7 *ква*; $ТН_2$, $ТН_3$, $ТН_5$ — трансформаторы накала; $ТН_4$ — испытательный трансформатор на 220/42500 *в*, 6 *ква*; $ТН_6$ — регулировочный трансформатор на 0—250 *в*; 7 *ква*; $ТН_7$ — автотрансформатор на 120—220—380 *в*, 7 *ква*, *АТ* — регулировочный автотрансформатор на 0—250 *в*, 1 *ква*; *АД* — электродвигатель мощностью 3 *квт*, *ГЗЧ* — генератор звуковой частоты 3 *квт*, *В* — возбудитель; *V* — киловольтметры; *МП* — пускатель магнитный; *А* — амперметр на 100 *а*.

Когда амперметр газотронной части зафиксирует нагрузку, кенотронную часть можно отключить (для этого отключают автомат кенотронной части). Напряжение на газотронах поддерживается таким, чтобы ток по амперметру не превышал допустимой для данной установки величины (1—1,5 *а*). Если во время работы в газотроне появляются искры,

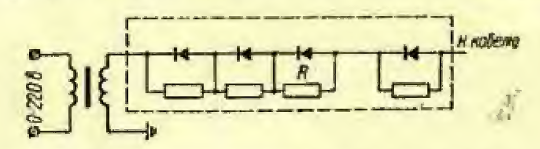


Рис. XIV.2. Принципиальная схема прожигательной установки с полупроводниковыми выпрямителями.

значит, накал недостаточен (катоды недокалены) и надо увеличить напряжение накала. Кончают прожигание в момент, когда ток, достигнув максимального значения, остается неизменным.

Достаточность прожигания проверяют включением заземляющего разъединителя $П_8$ на землю. Если при этом показания амперметра

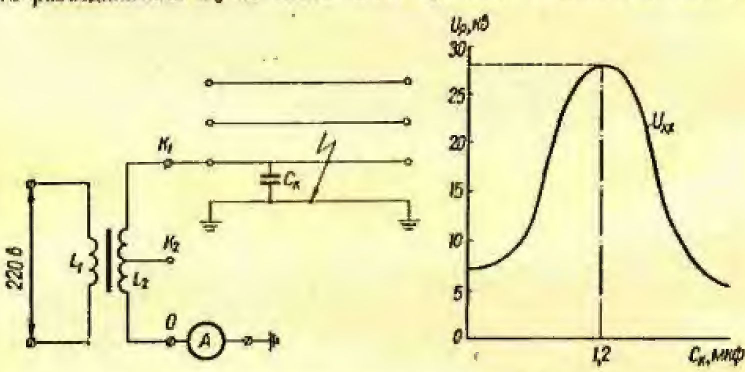


Рис. XIV.3. Схема прожигания поврежденной жилы кабеля резонансным трансформатором.

Рис. XIV.4. График зависимости напряжения на резонансном контуре от подключенной емкости $C_к$.

газотрона почти не изменяются, значит, сопротивление в месте повреждения достаточно мало. Прожигание прекращают, когда переходное сопротивление в месте повреждения снижено до требуемой величины.

В зависимости от места повреждения на кабеле процесс прожигания протекает различно.

Повреждение в целом месте. Процесс прожигания идет спокойно, через 5—10 *мин* сопротивление резко снижается до нескольких десятков омов (при очень жирной пропитке кабеля прожигание длится дольше).

Повреждение в воде или в мокром грунте. Процесс прожигания идет спокойно. Сопротивление изоляции снижается только до 2000 *ом*, дальнейшее прожигание никаких изменений не дает.

Повреждение в муфтах. Прожигание длится больше обычного. Сопротивление колеблется в широких пределах, так как под действием дуги заливочная масса в муфте расплавляется и заливает место пробоя изоляции, увеличивая ее сопротивление. Колебания сопротивления изоляции иногда могут продолжаться 1—2 *ч*. Если в течение этого времени сопротивление не снизится, прожигание следует прекратить, зону повреждения кабельной линии измерить методом колебательного разряда, а потом уточнить место повреждения на трассе акустическим методом.

В остальных случаях прожигание заканчивают тогда, когда переходное сопротивление в месте повреждения снизится до величины, требуемой применяемым методом измерений.

Значительно лучшие характеристики и меньшие размеры имеют испытательные и прожигательные установки с полупроводниковыми выпрямителями. В ЛКС Ленэнерго успешно применяют масляно-селеновые прожигательные установки, в которых по обычной трехфазной схеме выпрямления собраны три цепи по 360 селеновых шайб диаметром 35 *мм*. Выпрямленное напряжение установки 5 *кв*, номинальный выпрямленный ток 4 *а*, мощность трехфазного трансформатора, размещенного в одном корпусе с выпрямителем, 10 *ква*. Масло способствует охлаждению и повышению электрической прочности выпрямителей.

В МКС Мосэнерго применяется схема прожигательной установки на кремниевых диодах Д-226 на напряжение 50 *кв* и ток 300 *ма* по однополупериодной схеме выпрямления (рис. XIV.2). Выпрямительный столбик состоит из 300 диодов Д-226, каждый из которых шунтирован сопротивлением 270 *ком* типа ВС-0,25. В последние годы для прожигания успешно применяются резонансные трансформаторы. При включении резонансного трансформатора параллельно поврежденной жиле кабеля (рис. XIV.3) создается резонансный контур, состоящий из емкости — жилы кабеля $C_к$ и катушки индуктивности L_2. Напряжение на резонансном контуре $L_2 - C_к$ можно регулировать изменением числа витков (отпайками) катушки L_2, а также величиной емкости $C_к$. Зависимость выходного напряжения от подключенной емкости приведена на рис. XIV.4. Если емкость одной жилы прожигаемого кабеля недостаточна для получения необходимого напряжения, параллельно с поврежденной жилой кабеля могут быть включены две другие жилы. Ток в катушке L_1 при прожигании места повреждения достигает 30—70 *а*. Процесс прожигания идет автоматически, режим контролируется по амперметру. После того

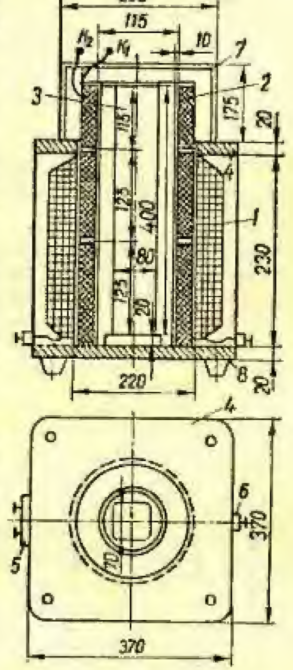


Рис. XIV.5. Общий вид резонансного трансформатора типа РД-2:

1 — катушка L_1; *2* — катушка L_2; *3* — сердечник; *4* — каркас; *5* — зажимы 220—380 *в*; *6* — вывод заземления; *7* — крышка; *8* — дно.

как трансформатор начинает работать в режиме короткого замыкания (показания амперметра не изменяются — 1—2 *а*), поврежденную жилу кабеля включают в сеть последовательно с катушкой L_1 для снижения переходного сопротивления в месте повреждения. Работа с резонансным аппаратом требует строгого выполнения всех необходимых мероприятий по технике безопасности. В процессе прожига необходимо следить за нагревом аппарата.

Общий вид одной из конструкций резонансного трансформатора приведен на рис. XIV.5. Трансформатор состоит из двух катушек, сердечника и корпуса. Обмотка низкого напряжения намотана на бакелитовый каркас размером 230 × 220 × 90 *мм* и содержит 320 витков из провода ПДС сечением 16 *мм*^{2}; между слоями намотки воздушный зазор 3 *мм* (оставлен с помощью деревянных клиньев). Обмотка высшего напряжения намотана на бакелитовом каркасе размером 125 × 115 × 430 *мм*, содержит 10 000 витков из провода ПЭВ диаметром 0,86 *мм* и состоит из трех последовательно соединенных катушек. Сердечник набран из трансформаторной стали 70 × 80 × 400 *мм*, а каркас — из немагнитного сплава на основе алюминия. Крышка и дно каркаса изготовлены из текстолита. Небольшие размеры и вес делают трансформатор удобным для транспортировки, а простота конструкции дает возможность изготовить его силами пуско-наладочных и эксплуатирующих организаций. Если испытательно-прожигательной установки нет, можно использовать кенотронную установку совместно с силовым трансформатором мощностью 50—100 *ква*, напряжением 6—10 *кв*.

Методы определения места повреждения кабеля

Индукционный метод

Индукционный метод основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток звуковой частоты. Применяют этот метод во всех случаях, когда между жилами кабеля в месте повреждения удается получить малое переходное сопротивление.

При использовании индукционного метода по кабелю пропускают ток от генератора звуковой частоты (800—3000 *гц*). Вокруг кабеля образуется магнитное поле, величина которого пропорциональна величине тока в кабеле. На поверхности земли над кабелем с помощью приемной рамки усилителя и телефона можно прослушать звучание, которое распространяется по пути прохождения тока по кабелю.

Индукционным методом можно определить место повреждения кабеля, трассу кабеля, место расположения муфт на трассе, глубину заложения кабеля.

Место повреждения кабеля при замыкании между жилами находят следующим образом: от генератора высокой частоты (рис. XIV.6) подается ток 5—20 *а* на две поврежденные жилы кабеля. По трассе проходят с рамкой *Р*, усилителем *У* и телефоном *Т*, улавливая характерный звук в телефоне от наведенной в рамке и усиленной э. д. с. Звук этот слышен на всем участке кабеля до места повреждения. Над местом повреждения, где ток переходит с одной жилы на другую, усиливается магнитное поле, звук в телефоне заметно возрастает, а затем затухает на расстоянии 0,5 *м* за местом повреждения.

При расположении жил кабеля в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли существенно больше, чем при расположении жил в вертикальной плоскости. Кабели имеют скрутку жил с шагом повива 0,5—2,5 *м* и в приемной рамке усилителя, расположенной вертикально над кабелем, при перемещении ее по трассе будет индуктироваться э. д. с., периодически изменяющаяся от минимума (вертикальное расположение жил) до максимума (горизонтальное расположение). Следовательно, при движении рамки по трассе кабеля в телефоне будут слышны периодические усиления и затухания звука, повторяющиеся в зависимости от шага скрутки жил кабеля.

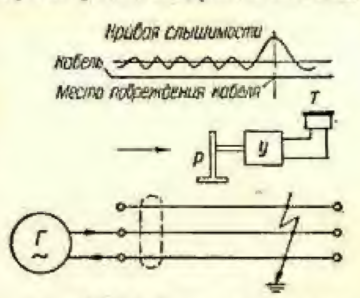


Рис. XIV.6. Схема определения места повреждения кабеля индукционным методом при междуфазном замыкании жил.

В тех местах, где имеется муфта, длина интервалов слышимости заметно нарушается и прослушивается резкое усиление звука за счет разводки жил в муфте. Это и используется для определения места нахождения муфты на трассе.

Однако не всегда по всей длине кабеля звук прослушивается одинаково хорошо. Плохая слышимость на некоторых участках может быть результатом неправильной скрутки жил кабеля, большой глубины его залегания или экранирования металлическими трубами. Поэтому особое внимание надо обращать на концевой эффект. Если звук прекращается плавно или обрывается без заметного усиления, значит, кабель ушел на большую глубину или заложен в металлической трубе.

Если звук усиливается — рамка находится над местом повреждения. В сомнительных случаях или при очень плохой слышимости рекомендуется делать измерения с двух сторон. В обоих случаях звучание должно прекратиться в одном и том же месте трассы.

Рис. XIV.7. Схема определения места замыкания жилы на оболочку индукционно-коммутационным методом.

Место повреждения в кабеле при замыкании на оболочку только одной жилы можно определить индукционно-коммутационным методом, сущность которого состоит в следующем (рис. XIV.7). Выход генератора звуковой частоты с помощью коммутатора попеременно подключается с разной продолжительностью импульса к поврежденной жиле и к здоровой, заземленной с противоположного конца кабеля. На поверхности земли с помощью рамки, усилителя и телефона можно прослушать звучание импульсов различной продолжительности. До места повреждения поле

состоит из коротких и длинных сигналов, а за местом повреждения — только из длинных. Таким образом, по изменению ритма принимаемых сигналов устанавливается место повреждения кабеля. Точность определения места повреждения соответствует шагу скрутки жил кабеля. Последовательно с поврежденной жилой включают сопротивление *К*, уравнивающее знаки в жилах кабеля.

Определение трассы кабельной линии

При определении трассы кабеля один вывод генератора звуковой частоты присоединяют к неповрежденной жиле кабеля, другой — к заземленной оболочке измеряемого кабеля. Противоположный конец используемой жилы заземляют (рис. XIV.8, *а*).

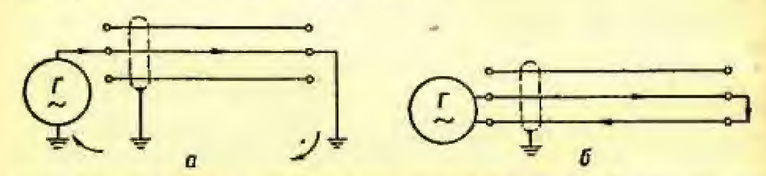


Рис. XIV.8. Схемы присоединения генератора звуковой частоты для определения трассы кабельной линии.

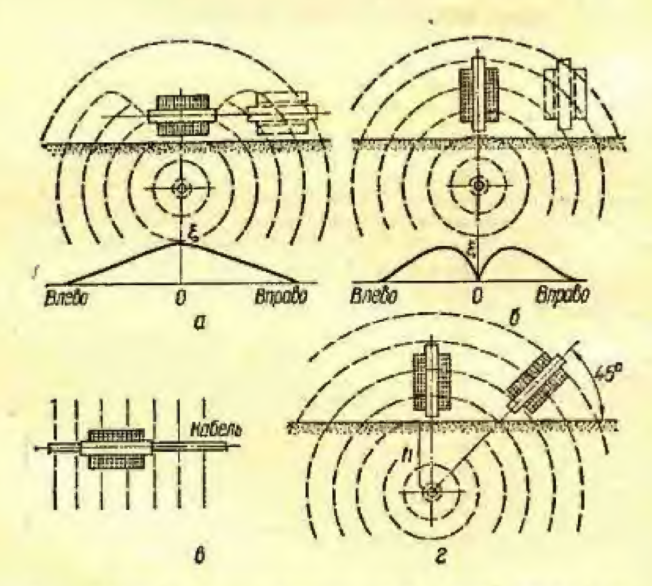


Рис. XIV.9. Пересечение контура приемной рамки магнитным полем:

а, *в* — горизонтальное расположение рамки; *б* — вертикальное расположение рамки; *г* — рамка повернута под углом 45°.

Ток генератора устанавливают от 50 *ма* до нескольких ампер. При сильных помехах или большой глубине залегания кабеля ток генератора приходится увеличивать до 15—20 *а*. Силовые линии магнитного поля системы токов жила — земля имеют форму концентрических окружностей.

Если ось приемной рамки кабелеискателя расположена горизонтально в плоскости концентрического поля (рис. XIV.9, *а*), над кабелем будет наводиться максимальная э. д. с. так как витки рамки пересекаются максимальным магнитным потоком. При удалении рамки от кабеля величина э. д. с. убывает. Это свойство используется для ориентировочного нахождения трассы кабельной линии.

Когда ось рамки расположена вертикально, то точно над кабелем э. д. с. равна нулю, так как витки рамки не пересекаются магнитным потоком (рис. XIV.9, *б*). При перемещении рамки в стороны от кабеля э. д. с. сначала резко возрастает, а затем медленно убывает. Это используется для точного определения трассы кабеля.

Если ось рамки искателя кабеля расположена параллельно оси кабеля (рис. XIV.9, *в*), э. д. с. равна нулю. При нарушении параллельности величина э. д. с. возрастает, что используется для определения направления трассы кабеля.

Иногда вследствие большого сопротивления грунта ток заземления растекается от вывода генератора по оболочкам соседних кабелей, находящихся под рабочим напряжением. Минимум звучания получается над тем кабелем, по которому течет этот ток, а кабель, который подключен к генератору, не прослушивается. В таких случаях необходимо пользоваться схемой двухпроводного питания, т. е. выводы генератора следует включать на две жилы, замкнутые накоротко перемычкой с противоположной стороны (см. рис. XIV.8, *б*).

Определение глубины залегания кабеля

Для определения глубины залегания кабеля используется та же схема питания, что и для определения трассы кабеля (см. рис. XIV.8, *а*). Рамку усилителя располагают горизонтально и определяют трассу кабеля: место трассы отмечают чертой. Затем рамку поворачивают таким образом, чтобы ее ось была под углом 45° к вертикальной плоскости, проходящей через кабель. После этого рамку усилителя отводят в сторону от черты, проведенной над трассой кабеля. В зоне, где не слышно звучания в наушниках усилителя, проводят вторую черту. Расстояние между первой чертой и второй равно глубине залегания кабеля (рис. XIV.9, *г*).

При индукционном методе применяется следующая аппаратура.

1. Ламповый генератор 1000 *гц*, выходная мощность которого несколько десятков ватт.

2. Машинный генератор 1000 *гц* мощностью порядка 3 *ква* на ток 15—25 *а*.

3. Кабелеискатель. Для усиления сигналов, снимаемых с индукционной рамки, применяются переносные полупроводниковые или ламповые усилители. Выход усилителя включен в телефон. Конструктивно кабелеискатель выполняется в виде трости, в нижней части которой располагается рамка, причем ось ее посредством шарнира может устанавливаться в различные положения относительно оси кабеля.

Акустический метод

Сущность акустического метода заключается в прослушивании звуковых колебаний над местом повреждения кабеля. Звуковые колебания в месте повреждения создаются искровым разрядом от генератора импульсов. При низких переходных сопротивлениях в месте повреждения генератор импульсов собирают из выпрямительной установки, разрядного промежутка на 10—18 *кв* и конденсатора емкостью 2—4 *мкф* (рис. XIV.10, *а*). При заплывающем пробое, когда напряжение пробоя

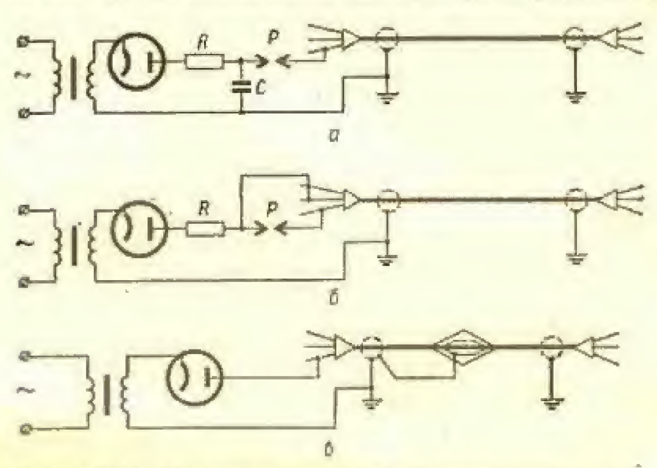


Рис. XIV.10. Принципиальные схемы определения места повреждения изоляции кабеля акустическим методом:
а — схема с конденсатором; *б* — схема с использованием емкости неповрежденных жил; *в* — схема с заплывающим пробоем в муфте.

не снимается, в качестве генератора импульсов используют выпрямительную установку и емкость кабеля (рис. XIV.10, *в*). Благодаря значительной энергии разряда в месте пробоя при разряде происходит мощный удар. Звук этого удара можно прослушать на поверхности земли с помощью акустического аппарата АИП-3М или стетоскопа.

Акустический индукционный прибор АИП-3М имеет две приемные рамки, акустический датчик, усилитель и высокоомные телефоны. Одна из приемных рамок служит для приема электрических разрядов, идущих по всей трассе в момент пробоя, вторая рамка используется при индукционном методе измерения.

Основной частью акустического датчика аппарата АИП-3М является пьезоэлемент — пластинка монокристалла (подобные пьезоэлементы применяются в звукоснимателях электропроигрывателей). Незначительные колебания грунта, вызванные искровым разрядом, воздействуют на пьезоэлемент через металлический стержень (на котором он укреплен) и вызывают благодаря пьезоэффекту напряжение на зажимах пьезоэлемента. Это напряжение подается на вход усилителя. Пьезоэлемент защищен от внешних акустических помех и механических воздействий металлическим кожухом с прокладками из пористой резины.

При заплывающем пробое в дефектной муфте ориентировочную зону повреждения определяют методом колебательного разряда. На ос-

новании полученных результатов по планам кабельных линий отмечают непосредственно на трассе соединительные муфты, в которых возможен пробой с учетом максимальной погрешности измерения. После этого на кабель вновь подается напряжение от кенотронной установки и после возникновения разрядов приступают к прослушиванию отмеченных муфт аппаратом АИП-3М или стетоскопом. Разряды отчетливо прослушиваются на поверхности земли в радиусе 2—3 *м* вокруг места пробоя. Наибольшую силу звук разряда имеет непосредственно над местом пробоя. Разряды в кабеле и их периодичность легко обнаружить кабелеискателем.

При малом переходном сопротивлении места повреждения зону определяют импульсным или петлевым методом. Порядок прослушивания тот же, но прослушивание ведется на всем участке трассы, соответствующем зоне повреждения, а не только возле муфт.

Акустический метод неприменим на кабелях, не имеющих отверстия в оболочке в месте повреждения, при залегании кабеля на большой глубине или при звукопоглощающей среде в грунте над местом повреждения, а также в случае невозможности получения искрового разряда из-за прочного металлического соединения в месте повреждения.

Петлевой метод

В тех случаях, когда поврежденная жила кабеля не имеет обрыва и в кабеле одна жила неповрежденная, расстояние до места повреждения можно определить петлевым методом, основанным на принципе измерительного моста. Схема петлевого измерения приведена на рис. XIV.11. Плечом моста D является сопротивление жилы кабеля от измеряемого конца до места повреждения кабеля, плечо B — это сумма сопротивлений здоровой жилы кабеля и участка от места повреждения до противоположного конца кабеля. В качестве плеч A и C используются сопротивления измерительного моста. В одну из диагоналей моста включается гальванометр, в другую — батарея. Расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \frac{2LC}{A+C}, \qquad \text{(XIV.1)}$$

где L — длина кабеля; A и C — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии (нулевых показаниях гальванометра).

Рис. XIV.11. Схема петлевого измерения.

Для проверки точности выполненных измерений следует повторить измерение, поменяв местами концы проводов, соединяющих жилы кабеля с измерительным мостом. Тогда

$$L + l_y = \frac{2LC}{A+C}, \qquad \text{(XIV.2)}$$

где L — расстояние от места повреждения до противоположного конца кабеля; A и C — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии.

Если сумма обоих измерений не равна двойной длине кабеля, то измерения неверны, их следует повторить, проверив предварительно надежность контактных соединений. Чтобы исключить влияние соединительных проводов на результат измерения, гальванометр нужно подключать к жилам кабеля отдельными проводами, притом так, чтобы концы проводов от гальванометра не соприкасались с концами A и C на зачищенной поверхности жилы кабеля. Сечение перемычки, соединяющей поврежденную жилу кабеля с неповрежденной, должно быть не менее сечения жил кабеля; в месте соединения необходимо обеспечить контакт с небольшим переходным сопротивлением.

Переходное сопротивление на землю в месте повреждения кабеля должно быть не более 10 *ком* (при больших сопротивлениях чувствительность моста заметно снижается). Напряжение батареи для питания моста зависит от величины переходного сопротивления в месте повреждения.

Рекомендуемые величины напряжения батареи для питания моста при петлевом методе измерения расстояния до места повреждения таковы:

Переходное сопротивление в месте повреждения, *ом*	10 000	1000	100
Напряжение батареи, *в*	100—120	20—30	4—6

В некоторых случаях мост не уравновешивается при любых значениях сопротивления A и C. Это означает, что повреждение находится в самом начале кабеля со стороны места измерения, чаще всего в концевой воронке. Мост также не уравновешивается при обрыве соединительных проводов.

Формулы (XIV.1) и (XIV.2) пригодны в тех случаях, когда жилы по всей длине кабеля однородны. Если же жилы кабеля неоднородны, необходимо привести все участки кабеля к какому-либо одному сечению и удельному сопротивлению. Приведенную длину кабеля определяют по формуле

$$L_{пр} = l_{к_1} \frac{S \cdot \rho_{к_1}}{S_{к_1}\rho} + l_{к_2} \frac{S \cdot \rho_{к_2}}{S_{к_2}\rho} + \cdots, \qquad (XIV.3)$$

где $l_{к_1}$, $l_{к_2}$ и т. д. — длины приводимых участков кабеля; $S_{к_1}$, $S_{к_2}$ и т. д. — сечения приводимых участков кабеля; $\rho_{к_1}$, $\rho_{к2}$ и т. д. — удельные сопротивления приводимых участков кабеля; S, ρ — сечение и удельное сопротивление участка кабеля, к которому приводятся все остальные участки.

Приведенное расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_{xпр} = \frac{2L_{пр}C}{A + C}, \qquad (XIV.4)$$

где $L_{пр}$ — приведенная длина кабеля; A и C — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии.

Действительное расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \left(l_{xпр} - \sum_{1}^{n-1} l_{iпр}\right) \frac{S_п\rho}{S\rho_п} + \sum_{1}^{n-1} l_i, \qquad (XIV.5)$$

где $l_{xпр}$ — приведенное расстояние до места повреждения; n — номер участка, на котором находится повреждение; $S_п\rho_п$ — действительные сечения и удельное сопротивление участка, в котором находится место повреждения; S, ρ — сечение и удельное сопротивление, к которым приведены все участки кабеля; $\sum\limits^{n-1} l_{iпр}$ — сумма приведенных длин участков кабеля от первого до предшествующего поврежденному; $\sum\limits^{n-1} l_i$ — сумма действительных длин участков кабеля от первого до предшествующего поврежденному.

При петлевом методе могут быть использованы мосты типов МО-62, Р333, Р331, Р556.

Емкостный метод

При обрывах жил кабеля в соединительных муфтах расстояние до места повреждения может быть определено емкостным методом. Емкость кабеля измеряют как на переменном, так и на постоянном токе.

Широкое применение нашли мосты переменного тока с питанием от лампового генератора, работающего на частоте 1000 *гц* и напряжении 10—20 *в*, и с телефоном в качестве нулевого индикатора (рис. XIV.12).

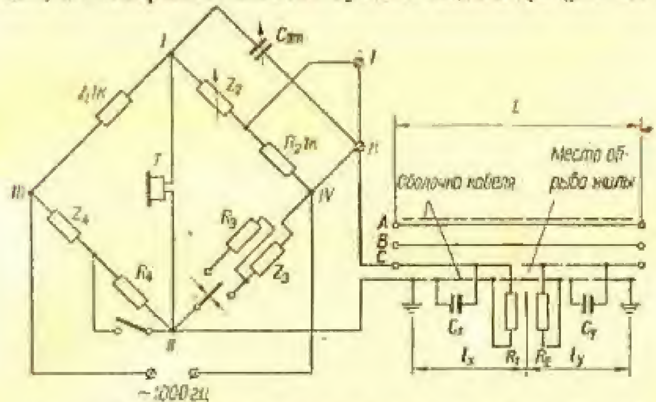


Рис. XIV.12. Схема измерения емкости кабеля мостом переменного тока.

Регулированием сопротивления R_3 и эталонной емкости $C_{эт}$ добиваются обесточивания диагонали; вследствие этого исчезает звук в телефоне. Величина измеренной емкости при этом определяется из выражения

$$C_и = C_{эт} z_1, \qquad (XIV.6)$$

где z_1 — сопротивление плеча моста (см. рис. XIV.12).

Мостами переменного тока можно измерять емкость при заземлениях с переходным сопротивлением не ниже 5 *Мом*; при меньших сопротивлениях точность измерения снижается. Все жилы кабеля, кроме измеряемой, заземляют для уменьшения их влияния.

Метод постоянного тока для измерения емкости может быть применен лишь при чистом обрыве жил кабеля, когда переходное сопротивление в месте обрыва составляет 20 *Мом* и больше. В этом случае собирают схему с батареей постоянного тока на 100—120 *в*, гальванометром $Г$,

шунтом R, эталонным конденсатором $C_{эт}$ и двумя ключами $П_1$ и $П_2$ (рис. XIV.13).

Установив шунтом R минимальную чувствительность гальванометра, ключ $П_2$ ставят в положение 1 (в положение 2 ключ возвращается пружиной). Зарядный ток от батареи в жилу кабеля проходит через гальванометр, стрелка отклоняется на угол α_1. Шунтом R чувствительность гальванометра увеличивают до максимально допустимого отклонения стрелки для данной емкости. Включение проводят три-четыре

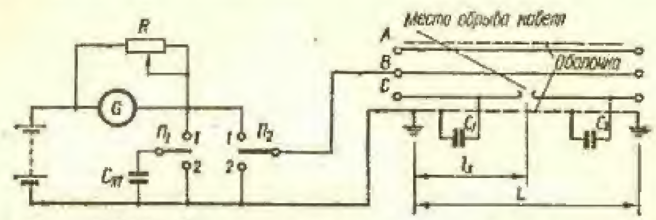


Рис. XIV.13. Схема измерения емкости на постоянном токе.

раза и находят среднюю величину отклонения стрелки гальванометра. Затем при том же положении шунта ключ $П_1$ включают в положение 1 (в положение 2 ключ возвращается пружиной). Зарядный ток пойдет от батареи в эталонный конденсатор через гальванометр, и стрелка отклонится на угол α_2.

Отклонение стрелки гальванометра пропорционально заряжаемой емкости, поэтому искомая емкость кабеля

$$C_1 = \frac{C_{эт}\alpha_1}{\alpha_2}\ [мф]. \qquad (XIV.7)$$

При измерении емкости возможны три случая.

1. При обрыве одной жилы измеряют емкость C_1 с одного конца, затем C_2 с другого конца; длину кабеля делят пропорционально полученным емкостям. Расстояние до места повреждения

$$l_x = \frac{LC_1}{C_1 + C_2}\ [м], \qquad (XIV.8)$$

где L — длина кабеля, $м$.

2. Если оборванная жила имеет с одного конца глухое заземление, измеряют емкость C_1 одного участка и целой жилы C. Расстояние до места повреждения

$$l_x = \frac{LC_1}{C}. \qquad (XIV.9)$$

3. Когда емкость C_1 оборванной жилы можно измерить только с одного конца, а остальные жилы имеют глухое заземление, то расстояние до места повреждения определяют из выражения

$$l_x = \frac{C_1 1000}{C_0}\ [м]. \qquad (XIV.10)$$

Величину удельной емкости жилы C_0 для данного напряжения находят в табл. XIV.2, где приведены значения емкости жилы при заземленных двух других жилах. Для кабелей, бывших в эксплуатации, действительная удельная емкость, как правило, отличается от величин, приведенных в табл. XIV.2. Поэтому третий способ дает удовлетворительные результаты только на коротких участках (100—150 $м$). При большей длине кабеля ошибка увеличивается и может доходить до десятков метров. Наилучшие результаты дает первый способ.

Таблица XIV.2

Емкость одной жилы трехжильного кабеля с бумажной пропитанной изоляцией по отношению к двум другим и металлической оболочке

Сечение, $мм^2$	Емкость одной жилы, $мкф/км$, при различных напряжениях, $в$			
	1000	3000	6000	10 000
3×4	0,2	0,125	0,100	—
3×6	0,225	0,150	0,120	—
3×10	0,310	0,200	0,170	—
3×16	0,330	0,215	0,190	0,150
3×25	0,360	0,240	0,200	0,180
3×35	0,450	0,300	0,240	0,200
3×50	0,635	0,350	0,280	0,210
3×70	0,650	0,370	0,330	0,220
3×95	0,670	0,425	0,370	0,230
3×120	0,685	0,450	0,400	0,270
3×150	0,700	0,500	0,440	0,290
3×185	0,740	0,600	0,475	0,320
3×240	0,850	0,650	0,520	0,360

Емкостный метод по точности и удобству измерения значительно уступает импульсному. Его применяют лишь в том случае, когда нет импульсных приборов.

Для измерений емкостным методом могут быть использованы мосты типов Р334, Р556.

Импульсный метод

Импульсный метод основан на измерении времени пробега импульса электромагнитной волны, посылаемого в поврежденную линию, от места измерения до места повреждения и обратно. Время такого пробега импульса (в $мксек$)

$$t = 2\frac{l_x}{v}, \qquad (XIV.11)$$

где l_x — расстояние до места повреждения, $м$; v — скорость распространения импульса, равная для силовых кабельных линий на 6—35 $кв$ (160 ± 1) $м/мксек$.

Измерения проводятся приборами типа ИКЛ-5; его модификаций Р5-1 и Р5-5.

Процесс посылки импульса в кабель отражается на экране электроннолучевой трубки прибора. Время пробега импульса измеряют с помощью вырабатываемых прибором специальных калибровочных импульсов,

следующих друг за другом через определенное время (2 *мксек*) и также наблюдаемых на экране ЭЛТ (линия масштабных отметок времени). Расстояние до места повреждения определяется по экрану так:

$$l_x = nv \; [м], \qquad (XIV.12)$$

где n — количество масштабных отметок времени на экране от места измерения до места повреждения.

Полярность отраженного импульса указывает на характер изменения волнового сопротивления в месте отражения. Выброс вверх соответствует увеличению волнового сопротивления (обрыв), выброс вниз — уменьшению волнового сопротивления (короткое замыкание). Поскольку волновое сопротивление неповрежденной линии обладает некоторой

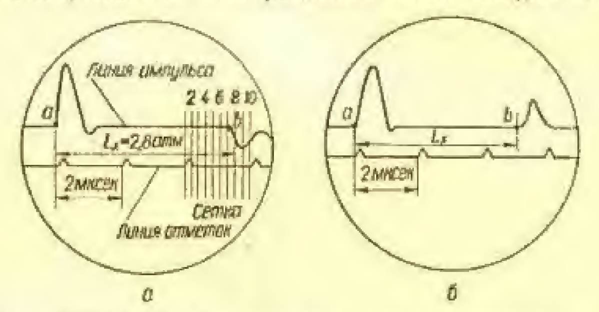


Рис. XIV.14. Изображение на экране электроннолучевой трубки прибора ИКЛ:

а — при измерении на линии, имеющей короткое замыкание жил; *б* — при обрыве жил в муфте.

неоднородностью вдоль линии, то обнаружить этим способом можно лишь такое повреждение, при котором отражение больше, чем от неоднородности. Практически импульсным методом может быть обнаружено повреждение изоляции с переходным сопротивлением не более 200 *ом*.

В начале измерений прибор подключают к исправной жиле, отмечают картину распространения импульса и определяют, какому количеству масштабных отметок времени n соответствует полная длина линии. При известной длине кабеля фактическая скорость распространения импульса в линии определяется по формуле

$$v = \frac{L}{n} \; (м/мксек), \qquad (XIV.13)$$

где L — полная длина кабеля, *м*.

После переключения прибора на поврежденную жилу расстояние до места повреждения определяют по (XIV.12). Если нет неповрежденной жилы, скорость распространения импульса принимается равной 160 *м/мксек*. Картина, наблюдаемая на экране прибора при измерениях линий с различным характером повреждения, приведена на рис. XIV.14.

Импульсный метод позволяет определить несколько повреждений в разных местах.

Прибор Р5-5 выполнен на полупроводниковых элементах. Он пригоден для работы в полевых условиях как от сети переменного, так и постоянного тока. Мощность, потребляемая прибором, не более 40 *вт*. Вес прибора 9 *кг*.

Метод колебательного разряда

Метод колебательного разряда используется для определения мест повреждения с заплывающим пробоем (изоляция в месте повреждения в промежутке между пробоями восстанавливается) и основан на следующем принципе. Если от выпрямительной установки зарядить поврежденную жилу кабеля до напряжения пробоя в дефектном месте, то при пробое разряд будет иметь характер затухающих колебаний. Период колебания

$$T = \frac{4l_x}{v}, \qquad (XIV.14)$$

где v — скорость распространения волны колебаний (для кабелей 6—10 *кв* с бумажной изоляцией v = 160 *м/мксек*).

Для получения наибольшей точности при определении расстояния до места повреждения измеряется время только первого

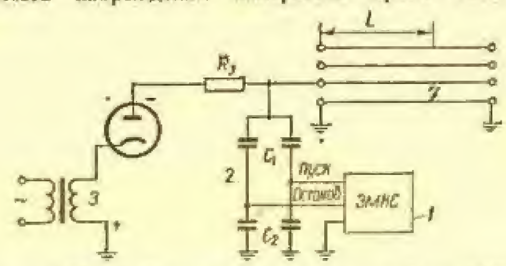


Рис. XIV. 15. Схема включения прибора ЭМКС при измерении методом колебательного разряда:

1 — прибор ЭМКС; *2* — делитель напряжения; *3* — испытательный трансформатор.

полупериода колебания, подверженного наименьшему искажению и затуханию. Измерение выполняется электронным микросекундомером по схеме, приведенной на рис. XIV.15. Поврежденная жила через сопротивление $R_з$ заряжается от выпрямительной высоковольтной установки. Напряжение заряда плавно поднимается до напряжения пробоя (но не выше значения, обусловленного нормами профилактических испытаний). В момент пробоя в кабеле происходит колебательный разряд, который фиксируется прибором ЭМКС-58, присоединенным к жиле кабеля через емкостный делитель напряжения.

Электронный микросекундомер ЭМКС-58 запускается фронтом волны положительной полярности и останавливается фронтом волны отрицательной полярности (через первую половину периода колебательного разряда). С момента пуска до остановки в приборе происходит зарядка эталонного конденсатора. Показания лампового вольтметра, измеряющего напряжение на конденсаторе, прямо пропорциональны продолжительности полупериода колебания, шкала прибора отградуирована в километрах. Схема прибора позволяет сохранять показания прибора неизменными в течение нескольких минут и предусматривает также блокировку, исключающую накладывание друг на друга замеров при поступлении повторных колебаний на вход прибора.

Метод измерения падения напряжения

Падение напряжения измеряют по схеме, приведенной на рис. XIV.16. Один полюс аккумуляторной батареи через защитное сопротивление соединяется с землей, второй через переключатель соединяется поочередно с каждым из концов петли, образованной поврежденной и здоровой жилами кабеля, и определяются показания гальванометра. При неизменной величине тока в кабеле расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} 2L, \qquad (XIV.15)$$

Рис. XIV.16. Схема измерения падения напряжения на участке поврежденной жилы с помощью гальванометра.

где L — длина кабеля, *м*; α_1 и α_2 — отклонения стрелки гальванометра при обоих замерах.

На противоположном конце жилы кабеля соединяют короткой перемычкой сечением не менее сечения жил кабеля с надежными контактами.

Расстояние до места повреждения может быть также определено по схеме, приведенной на рис. XIV.17. Расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = L \frac{u_1}{u_2 + u_1}, \qquad (XIV.16)$$

где u_1 и u_2 — показания вольтметров.

Метод измерения падения напряжения на металлической оболочке кабеля

Броня кабеля при измерении на ней падения напряжения должна иметь металлическое соединение с оболочкой. Измерение проводится по схеме, приведенной на рис. XIV.18. Включение гальванометра осуществляется проводами с присоединенными к ним щупами, которыми касаются зачищенной металлической оболочки. В месте повреждения изменяется направление отклонения стрелки прибора.

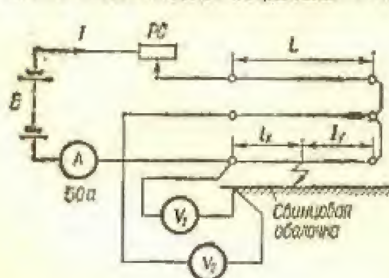


Рис. XIV.17. Схема измерения падения напряжения на участках поврежденной жилы с помощью вольтметра.

Рис. XIV.18. Схема измерения падения напряжения на металлической оболочке.

Глава XV

ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Объем приемо-сдаточных испытаний

Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию заземляющие устройства подвергают приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Проверка состояния элементов заземляющего устройства.
2. Проверка состояния пробивных предохранителей в установках напряжением до 1000 *в*.
3. Проверка полного сопротивления петли фаза — нуль в установках напряжением до 1000 *в* с глухим заземлением нейтрали. Проводится для наиболее удаленных, а также наиболее мощных электроприемников (проверке подвергается не менее 10% общего количества электроприемников).
4. Измерение сопротивления заземляющих устройств.
5. Проверка целости цепи между заземлителями и заземленными элементами.
6. Проверка соответствия сечения или проводимости заземляющих проводников.

Проверка состояния элементов заземляющего устройства

Проверка состояния элементов заземляющего устройства выполняется путем выборочного осмотра элементов, находящихся в земле, со вскрытием грунта, а остальных — в пределах доступности.

При осмотре проверяется соответствие проекту сечения, глубины заложения заземлителей, надежность соединений элементов искусственного заземлителя (труб, полос и др.), а также соединений искусственного заземлителя с естественными, соответствие проекту сечения заземляющих магистралей и проводников, правильность присоединения заземляющих проводников к защищаемому оборудованию и к заземлителю, надежность сварных швов (путем легких ударов молотком), защищенность заземляющих проводников от механических повреждений (в местах, где возможны механические повреждения) и т. д.

Проверка состояния пробивных предохранителей

Предохранители подвергаются наружному осмотру, при котором проверяется состояние наружной поверхности и внутренних частей, отсутствие сколов, трещин, загрязнения фарфоровой изоляции, целость слюдяной прокладки, чистота разрядных поверхностей электродов.

Для проверки исправности пробивных предохранителей измеряют сопротивление изоляции и определяют пробивное напряжение промышленной частоты. Сопротивление изоляции (его измеряют мегомметром на 250 *в*) не нормируется. На основании опытных данных величина сопротивления изоляции должна быть не менее 4 *Мом*.

При определении пробивного напряжения промышленной частоты испытательное напряжение плавно повышается до наступления пробоя, после чего снижается до нуля, затем опять поднимается до величины, равной 0,75 пробивного напряжения, и снижается до нуля. При втором

Таблица XV.1

Основные технические данные пробивных предохранителей-разрядников типа ПП-А/3 (в двух исполнениях)

Исполнение	Номинальное напряжение, *в*	Пределы пробивного напряжения, *в*	Разрядный промежуток (толщина слюдяной прокладки), *мм*
Первое	220	351—500	0,08±0,02
Второе	500	701—1000	0,21±0,03

повышении напряжения пробоя предохранителя не должно быть. Для ограничения величины тока пробоя в цепь испытательного напряжения вводится сопротивление 5—10 *ком* (см. табл. XV.1). В табл. XV.1 приведены основные технические данные предохранителей-разрядников типа ПП-А/3.

Предохранитель считается исправным, если величина его сопротивления изоляции не ниже 4 *Мом*, и величина пробивного напряжения находится в пределах, указанных в табл. XV.1.

Проверка полного сопротивления петли фаза — нуль

Целью проверки является определение величины тока короткого замыкания при замыкании между фазами и заземляющими проводниками. Ток этот должен иметь определенную кратность по отношению к номинальному току плавкой вставки или расцепителя автомата защищаемого присоединения.

Сопротивление петли фаза — нуль состоит из сопротивлений фазы трансформатора, фазного провода и заземляющего провода. При протяженных линиях и больших мощностях трансформаторов измерение сопротивления петли допустимо без учета сопротивления обмотки трансформатора.

Следует учитывать, что если в измеряемой цепи есть стальные проводники, их сопротивление при малых токах значительно больше, чем при фактических токах короткого замыкания. Поэтому в таких случаях сопротивление при измерениях будет несколько больше, чем при фактических токах короткого замыкания.

Рассмотрим методы измерения сопротивления петли фаза — нуль.

Метод амперметра — вольтметра. Измерение ведется на отключенном оборудовании по схеме, приведенной на рис. XV.1. Питание петли от сварочного или котельного трансформатора, подключаемого к бли-

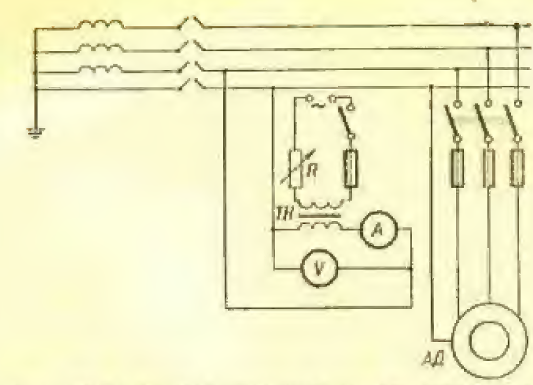


Рис. XV.1. Схема измерения сопротивления петли фаза — нуль с помощью вольтметра и амперметра.

Таблица XV.2

Расчетные величины сопротивлений силовых трансформаторов при однофазных замыканиях на землю на стороне 400 в

Тип трансформатора	Мощность, *ква*	$\frac{z_T}{3}$, приведенное к напряжению 400 *в*, *ом*
Соединение обмоток трансформатора «звезда — звезда с нулевой точкой» гр. 0		
ТМ-16	16	1,544
ТМ-20	20	1,452
ТМ-25	25	1,203
ТМ-30	30	1,110
ТМ-40	40	0,862
ТМ-50	50	0,722
ТМ-60 (63)	60 (63)	0,544
ТМА-60	60	0,797
ТСМА-60	60	0,512
ТМ-100	100	0,358
ТМА-100	100	0,557
ТСМА-100	100	0,399
ТМ-160	160	0,233
ТМ-180	180	0,204
ТМ-250	250	0,144
ТМ-320	320	0,117
ТМ-400	400	0,106
ТМФ-400	400	0,117
ТМ-560	560	0,087
ТМ-630	630	0,082
ТМФ-630	630	0,091
ТМ-750	750	0,059
ТМ-1000	1000	0,042
ТМФ-1000	1000	0,048
ТМА-1000	1000	0,067
ТМАФ-1000	1000	0,073
Соединение обмоток трансформатора «треугольник — звезда с нулевой точкой» гр. 11		
ТСЗ-160/10-65	160	0,058
ТСЗ-250/10-65	250	0,037
ТСЗ-400/10-65	400	0,023
ТСЗ-630/10-65	630	0,014
ТСЗ-1000/10-65	1000	0,009
ТСЗ-1600/10-65	1600	0,006

жайшим к трансформатору проводникам. Для предотвращения обратной трансформации фазные провода должны быть отсоединены от трансформатора, а выводы закорочены и заземлены. Для создания петли фазный провод присоединяют к корпусу проверяемого оборудования. Сопротивление петли определяется по формуле

$$Z_п = \frac{U}{I} \ [ом]. \qquad (XV.1)$$

Ток однофазного короткого замыкания определяется по формуле

$$I_{к.з} = \frac{kU_ф}{Z_п + Z_т} \ [а], \qquad (XV.2)$$

где $U_ф$ — фазное напряжение сети, *в*; $Z_т$ — расчетное сопротивление трансформатора, *ом* (табл. XV.2); k — коэффициент, учитывающий погрешности измерительных приборов, возможность появления переходного сопротивления в месте замыкания, возможность снижения напряжения сети, так как измерения производятся при отключенной нагрузке. Коэффициент k принимается равным 0,85.

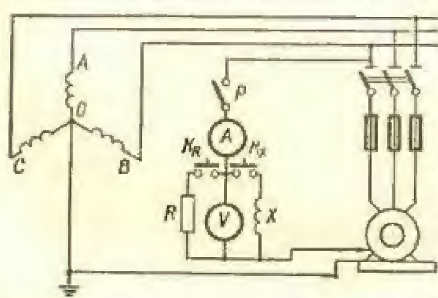


Рис. XV.2. Схема измерения сопротивления петли (фаза трансформатора, фазный провод, заземляющий провод) методом Южэнергочермета.

Метод Южэнергочермета. Измерения проводятся без отключения оборудования. Схема измерений приведена на рис. XV.2. При включенном рубильнике P и отключенных кнопках снимаются показания вольтметра. С помощью кнопки K_R включают активное сопротивление R и измеряют ток и напряжение, которое должно быть несколько меньше, чем до включения нагрузки. Активное сопротивление петли может быть вычислено из выражения

$$r_п = \frac{\Delta U_1}{I_R} \ [ом], \qquad (XV.3)$$

где ΔU_1 — разность показаний вольтметра при отключенном и включенном сопротивлении R; I_R — ток в петле при включении сопротивления R.

Повторяют измерения тока и напряжения с помощью кнопки K_x (кнопка K_R отключена). По результатам измерений определяют индуктивное сопротивление петли

$$X_п = \frac{\Delta U_2}{I_x} \ [ом], \qquad (XV.4)$$

где ΔU_2 — разность показаний вольтметра при отключенном и включенном сопротивлении X; I_x — ток в петле при включении сопротивления X.

Полное сопротивление петли определяется по формуле

$$Z_п = \sqrt{r_п^2 + x_п^2}. \qquad (XV.5)$$

В качестве активного может быть использовано проволочное сопротивление порядка 8—12 *ом*, рассчитанное на кратковременный ток 20—30 *а*. Индуктивным сопротивлением могут быть дроссели и катушки

с железным сердечником. Колебания напряжения в сети могут привести в процессе измерения к ошибочным выводам.

На аналогичном принципе основан прибор типа М-417, выпускаемый заводом «Мегомметр» (прибор измеряет разность модулей фазных напряжений до и после включения нагрузочного сопротивления с фазовым углом сдвига $\varphi_н = 32°$).

Измерять сопротивление петли фаза — нуль без отключения испытуемого оборудования можно также методами преобразованного напряжения и вспомогательного напряжения. Первый из них использован в приборе ИЗ-58 УЭЧМ Укрэнергочермета. Метод вспомогательного напряжения положен в основу принципа работы прибора Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта.

Измерение сопротивления заземляющих устройств

Для измерения сопротивления заземлителей создается искусственная цепь тока через испытуемый заземлитель. Для этого на некотором расстоянии от испытуемого заземлителя располагается вспомогательный

Таблица XV.3

Рекомендуемые взаимное расположение и минимальные расстояния между испытуемым и вспомогательными заземлителями

Заземлитель		Расположение вспомогательных заземлителей	Минимальное расстояние, *м*
Сложный (контурный)	Двухлучевая схема		$80 \leqslant (r_{XB} = r_{X3} = 2r_{B3}) \geqslant 2D$
	Однолучевая схема		$160 \leqslant (2r_{X3} = r_{XB}) \geqslant 3D$
Лучевой			$\left(r_{OB} = r_{O3} = 2r_{B3}\right) \geqslant \frac{l}{2}$
Сосредоточенный			$r_{XB} = r_{XB} = r_{B3} \geqslant 20$

Примечание. B — вспомогательный заземлитель; $З$ — зонд; X — испытуемый заземлитель; D — большая диагональ; l — линия точных измерений.

Таблица XV.4

Максимальные допустимые сопротивления заземляющих устройств и устройств грозозащиты

Номинальное напряжение сети или установки, *в*	Характеристика установки или заземленного объекта	Измеряемая величина	Максимальное допустимое сопротивление заземляющего устройства при наименьшей проводимости почвы, *ом*	Примечания
Электроустановки: выше 1000	Установка с большими токами замыкания на землю (свыше 500 *а*)	Сопротивление заземляющего устройства каждого объекта	0,5 (с учетом естественного заземления)	Сопротивление искусственного заземляющего устройства должно быть не более 1 *ом*
	Установка с малыми токами замыкания на землю (500 *а* и ниже)	То же	$\frac{125^{*}}{I}$	В сетях без компенсации емкостных токов сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 10 *ом*
		» »	$\frac{250^{**}}{I}$	
	Отдельно стоящий молниеотвод	Сопротивление заземлителя	25	
до 1000	Все электрооборудование, за исключением генераторов и трансформаторов, мощностью 100 *ква* и менее	Сопротивление заземляющего устройства	4	
	Генераторы и трансформаторы мощностью 100 *ква* и менее, нейтрали которых присоединены к заземляющему устройству	То же	10	
	Установка с глухим заземлением нейтрали	Сопротивление заземляющего устройства каждого из повторных заземлений нулевого провода	10	
Воздушные линии электропередачи: выше 1000	Опоры железобетонные, металлические, деревянные, на которых установлены устройства грозозащиты и подвешен трос, опоры железобетонные и металлические линий напряжением 35 *кв* в сетях с малыми токами замыкания на землю и опоры напряжением 3—20 *кв*, установленные в населенных местностях	Сопротивление заземляющего устройства опоры при удельном сопротивлении земли, *ом·см*		Сопротивления даны для летнего времени и при отсоединенных тросах
		до 10^4	До 10	
		10^4—$5\cdot10^4$	До 15	
		$5\cdot10^4$—10^5	До 20	
		$>10^5$	До 20	
	Трубчатые разрядники, устанавливаемые в местах пересечения линий на напряжение выше 20 *кв* и в местах с ослабленной изоляцией	Сопротивление заземлителя	15	
выше 1000	Разрядники трубчатые, устанавливаемые на подходах линий к подстанциям, с шинами которых электрически связаны машины	Сопротивление заземлителя	5	
до 1000 *в* (изолированная нейтраль)	Опоры железобетонные и металлические	Сопротивление заземляющего устройства опоры	50	В сетях с заземленной нейтралью металлические опоры и арматура железобетонных опор должны быть соединены с нулевым заземленным проводом

* Для заземляющего устройства, одновременно используемого для электроустановок напряжением до 1000 *в*. I—расчетный ток замыкания на землю, *а*.

** Для заземляющего устройства, используемого только для электроустановок напряжением выше 1000 *в*.

заземлитель, подключаемый вместе с испытуемым заземлителем к источнику питания. Для измерения падения напряжения в сопротивлении испытуемого заземлителя при прохождении через него тока в зоне нулевого потенциала располагается зонд.

Точность измерения сопротивления заземлителей зависит от взаимного расположения испытуемого и вспомогательных заземлителей и от расстояний между ними. Рекомендованные ранее минимальное расстояние между испытуемым и вспомогательным заземлителями, равное 5D (D — большая диагональ контура испытуемого заземлителя), и расстояние между вспомогательным заземлителем и зондом более 40 *м*, как показали проведенные исследования, могут привести к недопустимым погрешностям. На основании этих исследований рекомендуется взаимное расположение испытуемого и вспомогательных заземлителей и минимальные расстояния между ними, приведенные в табл. XV.3.

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда могут применяться стальные неокрашенные электроды диаметром 10—20 *мм*, длиной 0,8—1 *м*. Электроды следует забивать в плотный естественный (не насыпной) грунт на глубину не менее 0,5 *м*. В грунтах с большим удельным сопротивлением места, где нужно забить вспомогательные заземлители, уплотняют либо увлажняют водой, раствором соли или кислоты. В качестве вспомогательных заземлителей могут быть использованы отрезки металлических труб, рельсов и другие металлические предметы, находящиеся в земле и не связанные с испытуемым заземлителем.

При измерении сопротивления заземления опор линий электропередачи, соединенных между собой тросом, последний должен отсоединяться от испытуемой опоры.

Существует много методов измерения сопротивления заземлителей, однако в практике наладочных работ наибольшее распространение получил метод измерений с помощью специального прибора — измерителя заземлений типа МС-08. В отдельных случаях применяется метод амперметра — вольтметра. Ниже рассматриваются оба этих метода.

Максимально допустимые величины сопротивления заземляющих устройств и устройств грозозащиты приведены в табл. XV. 4.

Измерение сопротивления заземлителей прибором МС-08

Прибор состоит из генератора с ручным приводом, прерывателя тока, выпрямителя, логометра и сопротивлений. Постоянный ток генератора, проходя через токовую обмотку логометра, преобразуется прерывателем в переменный и подается во внешнюю цепь через вспомогательный и испытуемый заземлители. На потенциальную обмотку логометра подается переменное напряжение, снимаемое с испытуемого заземлителя и зонда и выпрямленное посредством выпрямителя. Показания логометра пропорциональны отношению токов в его обмотках и, следовательно, отношению напряжения, снимаемого с испытуемого заземлителя и зонда, к току, проходящему через испытуемый заземлитель. Таким образом, показания логометра пропорциональны сопротивлению испытуемого заземлителя, и шкала логометра отградуирована в омах. Подвижная система логометра не имеет моментной пружины и при обесточенных обмотках логометра находится в неустойчивом состоянии. Прибор имеет три предела измерения: 0—1000 *ом*, 0—100 *ом*, 0—10 *ом*.

Для измерения больших сопротивлений прибор включают по схеме, приведенной на рис. XV.3. В этом случае сопротивление проводника,

соединяющего прибор с испытуемым заземлителем, входит в величину измеряемого прибором сопротивления.

При измерении малых сопротивлений прибор следует включать по схеме, приведенной на рис. XV.4. Если при собранной схеме и неподвижном генераторе стрелка прибора отклоняется, значит, в земле есть

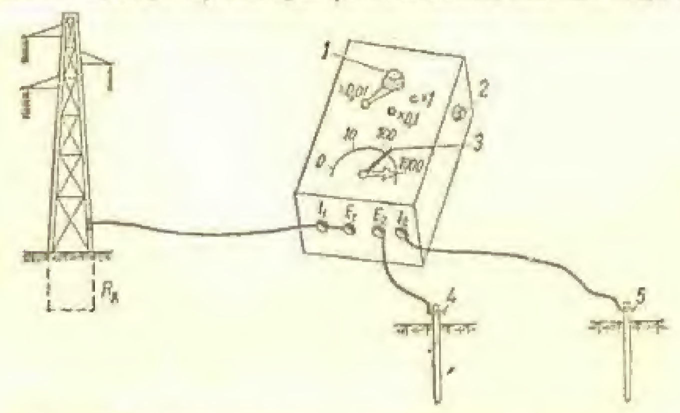


Рис. XV.3. Принципиальная схема включения измерителя заземлении:

1 — переключатель; 2 — реостат потенциальной цепи; 3 — красная черта на шкале; 4 — зонд; 5 — вспомогательный заземлитель; R_x — испытуемое сопротивление заземления.

посторонний постоянный ток. Он не оказывает существенного влияния на показания прибора, так как при вращении генератора он преобразовывается в переменный, не влияющий на показания логометра.

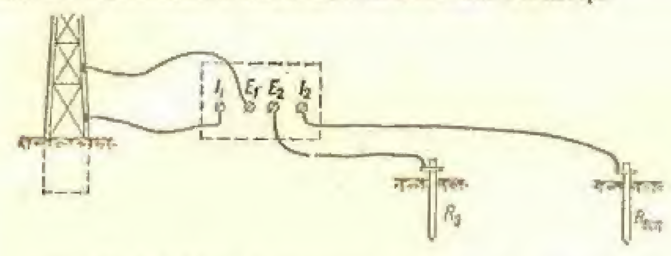


Рис. XV.4. Схема включения измерителя заземления, исключающая погрешность, вносимую соединительными проводниками.

Прибор отградуирован для внешнего сопротивления потенциальной цепи, равного 1000 *ом*. Поэтому перед измерениями необходимо компенсировать сопротивление потенциальной цепи. Для этого переключатель режима прибора устанавливают в положение «Регулировка» и, вращая рукоятку генератора со скоростью 120—135 *об/мин*, добиваются изменением регулируемого сопротивления совпадения стрелки прибора с красной чертой на шкале. Если при правильно собранной схеме измерений не

удается установить стрелку прибора на красную черту, следовательно, сопротивление зонда превышает 1000 *ом* и его следует снизить.

Вначале работы прибор включают на предел измерения 1000 *ом*. Если при вращении генератора со скоростью 120—135 *об/мин* отклонение стрелки незначительно, переходят на меньший предел измерения. При вращении генератора проводят отсчет по шкале, результат отсчета умножают на коэффициент, указанный переключателем пределов.

Если стрелка прибора устанавливается неуверенно, что свидетельствует о слишком большом сопротивлении вспомогательного заземлителя и недостаточной чувствительности логометра, необходимо принять меры к уменьшению сопротивления. Сопротивление вспомогательного заземлителя должно быть не более следующих величин:

Предел измерения, *ом*	1000	100	10
Предельно допустимое сопротивление вспомогательного заземления, *ом*	1000	500	250

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно поменять местами провода, присоединенные к зажимам I_1 и I_2 прибора и провести измерения, как указано выше.

Колебания стрелки прибора при измерениях свидетельствуют о посторонних переменных токах в земле, влияние которых можно устранить изменением скорости вращения генератора. Скорость эта, однако, должна находиться в пределах 90—150 *об/мин*. В тех случаях, когда не удается полностью устранить колебания стрелки, измерения можно провести при незначительных колебаниях; погрешность измерений при этом невелика.

Для точного измерения очень малых сопротивлений может быть использован метод амперметра — вольтметра.

Измерение методом амперметра — вольтметра

Измерения выполняют по схеме, приведенной на рис. XV.5. Питание схемы непосредственно от сети недопустимо из-за влияния проводимости изоляции сети на результат измерения. Для питания схемы могут быть использованы сварочные, нагрузочные и котельные трансформаторы. Амперметр и вольтметр к испытуемому заземлителю следует подключать отдельными проводами, так как в противном случае при случайном отсоединении от заземлителя соединенных вместе проводов вольтметр окажется под полным напряжением и может быть поврежден.

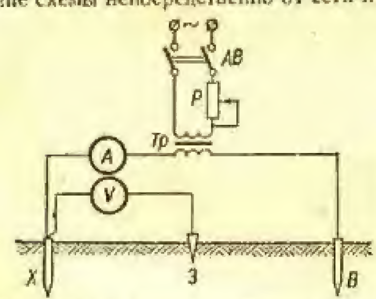


Рис. XV.5. Схема измерения сопротивления заземляющих устройств с помощью амперметра и вольтметра.

Сущность метода заключается в измерении тока I, проходящего через испытуемый заземлитель, и напряжения U между заземлителем и зондом. Сопротивление испытуемого заземлителя

$$R = \frac{U}{I}.$$

Для достаточной точности измерения сопротивление вольтметра должно быть значительно больше сопротивления зонда, которое может достигать 1—2 *ком*. Так, для того, чтобы погрешность не превышала 2%, сопротивление вольтметра должно быть по крайней мере в 50 раз больше сопротивления зонда. Если при измерениях используется вольтметр с меньшим внутренним сопротивлением, действительная величина измеренного напряжения может быть определена по формуле

$$U_x = U_в\left(1 + \frac{R_з}{R_в}\right) [в], \qquad (XV.6)$$

где $U_в$ — показание вольтметра, *в*; $R_з$ — сопротивление зонда, *ом*; $R_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра, *ом*. Перед измерениями при отключенной схеме необходимо убедиться по вольтметру в отсутствии посторонних токов в земле. Если же есть значительные напряжения от посторонних токов, то необходимо их устранить (например, отключить электросварку), либо, когда устранение невозможно, то изменить место расположения зонда.

Влияние посторонних токов можно снизить увеличением тока в испытательной цепи. Измерения проводят только тогда, когда нет постороннего напряжения либо величина его незначительна. При измерении малых сопротивлений достаточной является величина тока 20—25 *а*. Если при измерениях ток имеет величину, достаточную для отклонения стрелки вольтметра, но стрелка не отклоняется или отклоняется слабо, необходимо измерить сопротивление зонда. Для измерения сопротивления зонда провод токовой цепи отсоединяют от испытуемого заземлителя и присоединяют к зонду. Остальная часть схемы остается прежней, и сопротивление зонда определяется делением измеренного напряжения на величину тока.

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно провод, идущий к вольтметру, отсоединить от испытуемого и присоединить к вспомогательному заземлителю. Сопротивление последнего определяется так же, как и для зонда.

Исходя из условий техники безопасности, желательно применять как можно меньшее напряжение. Если применение безопасного напряжения не представляется возможным, необходимо принять меры, исключающие появление людей и животных в районе вспомогательного заземлителя.

Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами

Проводка, соединяющая оборудование и аппаратуру с заземляющим устройством, не должна иметь обрывов и неудовлетворительных контактов. Сопротивление этой проводки не нормируется и составляет обычно 0,05—0,1 *ом*.

Наличие цепи между заземлителями и заземленными элементами обычно проверяют измерением ее сопротивления различными приборами: измерителем заземления типа МС-08, специальными омметрами типа М313 и М372 для измерения сопротивления заземляющей проводки, градуированным в омах амперметром.

При небольших расстояниях между заземляемым элементом и магистралью заземления измерение можно проводить прибором МС-08 по схеме, соответствующей рис. XV.6, *а*. При большом расстоянии между заземляемым элементом и магистралью заземления для измерений применяют схему, приведенную на рис. XV.6, *б*. Эта схема исключает влияние

сопротивления соединительных проводов. В обоих случаях при малых и больших расстояниях перед измерением проводится компенсация сопротивления соединительных проводов.

Измерение сопротивления заземляющей проводки специальным омметром типа М-372 выполняют следующим образом.

Провод от одного из зажимов R_x прибора присоединяют посредством струбцины к предварительно зачищенному участку магистрали заземления. Корректором устанавливают стрелку прибора на нуль, затем нажимают кнопку и рукояткой устанавливают стрелку на отметку «∞». Щуп (струбцина и щуп входят в комплект прибора) соединяют со вторым зажимом R_x прибора и прикосновением острия щупа к корпусу испытуемого объекта, не нажимая кнопки, убеждаются, что на нем нет напряжения. В этом случае нажимают кнопку и проводят измерение сопротивления. Нельзя нажимать на кнопку, если на корпусе испытуемого объекта есть напряжение. Можно оставлять прибор включенным не более 30 *сек*.

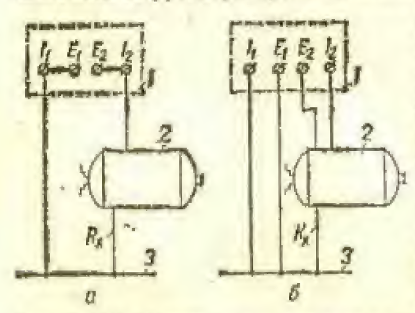


Рис. XV.6. Схема для измерения сопротивления металлической связи электродвигателя с магистралью сети заземления:

1 — измеритель заземления; *2* — электродвигатель; *3* — магистраль сети заземления.

Прибор позволяет измерять сопротивление до 50 *ом* и обнаруживать напряжение от 60 до 380 *в*. Питание прибора осуществляется от встроенного в прибор сухого элемента или внешнего источника постоянного тока напряжением 1,4 *в*.

Для измерения сопротивления заземляющей проводки может быть использован омметр М313. Прибор снабжен струбциной и щупом, питание прибора осуществляется от встроенного сухого элемента или от внешнего источника постоянного тока напряжением 1,4 *в*.

Обрывы и неудовлетворительные контакты заземляющей проводки можно обнаружить пропусканием тока через проверяемую цепь от понизительного трансформатора со вторичным напряжением 12 *в* через амперметр. Отсутствие тока, колебание стрелки амперметра или малое значение тока указывают на разрыв или плохой контакт. В месте плохого контакта бывает искрение или нагрев.

Измерение удельного сопротивления грунта

Измерение удельного сопротивления грунта может быть выполнено одним из следующих методов.

Метод контрольного электрода

На площадке, где проводится измерение, в грунт забивают контрольный электрод в виде трубы, стержня или уголка таких же размеров и на такую же глубину, как у действительного заземлителя. Вспомогательный заземлитель и зонд располагаются в соответствии с табл. XV.3. Затем одним из рассмотренных выше методов измеряют сопротивление контрольного электрода. Удельное сопротивление грунта на глубине заложения электрода определяют по формуле

$$\rho = \frac{R_{и}}{0{,}366\left(\lg\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)} \text{ [ом} \cdot \text{см]}, \qquad (XV.7)$$

где $R_{и}$ — измеренное сопротивление контрольного электрода, *ом*; l — длина трубы, *ом*; d — внешний диаметр трубы, *см*; t — глубина заложения трубы, равная расстоянию от поверхности земли до середины трубы, *см*.

При использовании в качестве контрольного электрода отрезка трубы диаметром 2" и длиной 2,5 *м*, забиваемого на глубину 0,7 *м* от поверхности земли до верхнего конца трубы, удельное сопротивление грунта может быть вычислено по формуле

$$\rho = \frac{R_{и}}{0{,}003} \text{ [ом} \cdot \text{см]}. \qquad (XV.8)$$

При использовании в качестве контрольного электрода отрезка уголковой стали 50 × 50 × 5 *мм* той же длины и глубины заложения удельное сопротивление грунта может быть вычислено по формуле

$$\rho = \frac{R_{и}}{0{,}00318} \text{ [ом} \cdot \text{см]}. \qquad (XV.9)$$

Для получения достоверных результатов контрольные электроды следует забивать в разных местах исследуемой площадки.

Метод вертикального электрического зондирования

На испытуемом участке забивают в землю по прямой линии на некотором расстоянии друг от друга четыре электрода на глубину, не превышающую 0,05 расстояния между соседними электродами. Для измерения удельного сопротивления грунта используется измеритель заземления МС-08, включаемый по схеме, приведенной на рис. XV.7. Перед измерением компенсируют сопротивление потенциальной цепи. Для этого при положении переключателя режимов «регулировка» рукоятку прибора вращают со скоростью 120—135 *об/мин*, и изменением регулировочного сопротивления добиваются совпадения стрелки прибора с красной чертой на шкале.

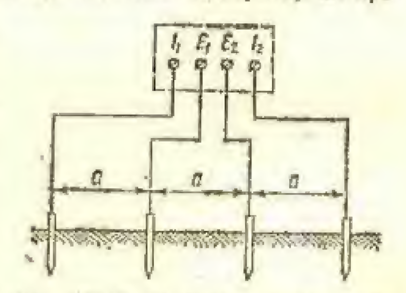


Рис. XV.7. Принципиальная схема соединений при измерении удельного сопротивления грунта.

Удельное сопротивление грунта может быть определено по формуле

$$\rho = 2\pi a R_{и} \text{ [ом} \cdot \text{см]}, \qquad (XV.10)$$

где $R_{и}$ — показания прибора, *ом*; a — расстояние между электродами, *см*.

Измерение распределения потенциалов на поверхности земли

Непосредственное измерение потенциалов может быть выполнено с помощью вольтметра по схеме, приведенной на рис. XV.8. На схеме X и B соответственно испытуемый и вспомогательный заземлители. Зонд $З_0$ помещается в зоне нулевого потенциала, а передвижной зонд $З_1$ — в точках, потенциал которых желательно измерить. Потенциал в какой-либо точке выражается в процентах от полного потенциала так:

$$U_A[\%] = \frac{U_V}{U_x} 100, \quad (XV.11)$$

где U_V — показания вольтметра, подключенного к зонду в точке A; U_x — показания вольтметра, подключенного к точке X (к испытуемому заземлителю).

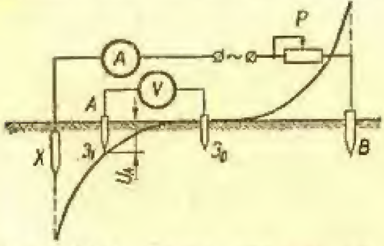


Рис. XV.8. Схема непосредственного измерения потенциалов вольтметром.

Измерение распределения потенциалов должно выполняться при неизменном токе, величина которого поддерживается реостатом и контролируется амперметром. Зонд погружают на глубину 5—8 *см*. Вследствие небольшой глубины погружения сопротивление зонда велико, поэтому при измерениях обязательным является применение вольтметра с очень высоким внутренним сопротивлением (электронной, электростатической систем). Потенциалы определяются в точках, находящихся друг от друга на расстоянии 0,8 *м*. За пределами заземляющего устройства по мере удаления от заземлителя расстояние постепенно увеличивают до 5 *м*.

Определение потенциалов в различных точках в аварийном режиме на основании результатов измерений может быть выполнено по формуле

$$U_{ab} = \frac{U_н[\%]}{100} R_x I_з \; [в], \quad (XV.12)$$

где $U_н$ [%] — потенциал в данной точке при токе измерения, определенный по (XV.11); R_x — сопротивление испытуемого заземлителя, *ом*; $I_з$ — ток, проходящий через испытуемый заземлитель в аварийном режиме, *а*.

Характер распределения потенциалов практически почти не зависит от величины тока, проходящего через заземлитель. Измерение потенциалов может быть также выполнено с помощью измерителя заземления МС-08. Подключают прибор так же, как и для измерения сопротивления заземлителя (см. рис. XV.4). Сначала зонд помещают в зоне нулевого потенциала и измеряют сопротивление заземлителя R_x. Затем зонд устанавливают в точке, потенциал которой желательно определить, и повторяют измерение. Потенциал в этой точке определяется из выражения

$$U_н[\%] = \left(1 - \frac{R_т}{R_x}\right) 100, \quad (XV.13)$$

где $R_т$ — показания измерителя заземления при измерениях в точке, потенциал которой определяется.

Абсолютные величины потенциалов в аварийном режиме, как и при предыдущем методе измерения, могут быть определены из (XV.12).

Глава XVI

ЗАЩИТНАЯ, РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНАЯ И БЕСКОНТАКТНАЯ АППАРАТУРА В СХЕМАХ АВТОМАТИКИ

Объем испытаний аппаратов напряжением до 1000 в

Согласно ПУЭ, объем пуско-наладочных испытаний для аппаратов напряжением до 1000 *в* следующий.

1. Измерение сопротивления изоляции. Величины сопротивления изоляции аппаратов должны быть не ниже приведенных в табл. III.4.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Таблица XVI.1

Количество операций при испытании контакторов и автоматов многократными включениями и отключениями

Операция	Количество	Отклонение напряжения на шинах оперативного тока от номинального, %
Включение	5	90
Включение и отключение	5	100
Отключение	10	80

Величина испытательного напряжения изоляции аппаратов, их катушек и вторичных цепей со всеми присоединенными аппаратами принимается равной 1000 *в*. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

3. Проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматов с номинальным током 200 *а* и более. Пределы работы расцепителей должны соответствовать заводским данным.
4. Проверка работы контакторов и автоматов при пониженном и номинальном напряжениях оперативного тока. Величины напряжений и количество операций при испытании контакторов и автоматов многократными включениями и отключениями приведены в табл. XVI.1.

Помимо испытаний, предусмотренных ПУЭ, в процессе пуско-наладочных работ проводятся испытания, определяемые конструкцией и назначением аппарата и условиями его работы, а также испытания для получения исходных данных. Методика этих испытаний рассматривается в настоящей главе. Даны также рекомендации по проверке правильности выбора предохранителей и расцепителей автоматов.

Автоматические выключатели серии А3100

В объем наладочных работ по выключателям серии А3100 входят проверка тепловых и электромагнитных расцепителей и испытание изоляции выключателей.

Уставки расцепителей автоматов серии А3100 не регулируются. После калибровки расцепителей на заводе-изготовителе их крышки опечатываются. На месте установки автоматов проверяется соответствие фактических уставок расцепителей их номинальным данным для оценки пригодности автоматов для эксплуатации.

Начальные токи срабатывания расцепителей или тепловых элементов комбинированных расцепителей при нагрузке одновременно всех полюсов автомата из холодного состояния при температуре окружающей среды +25° С, а также время остывания теплового элемента приведены в табл. XVI.2. Проверку тепловых элементов расцепителей автоматов рекомендуется проводить в такой последовательности.

Таблица XVI. 2

Время срабатывания и остывания тепловых элементов автоматов

Тип автомата	Время срабатывания, ч, при $\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1{,}35$	Время срабатывания, ч, при $\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1{,}45$	Время, ч, в течение которого элемент не срабатывает при $\frac{I_{исп}}{I_{ном}}=1{,}1$	Время остывания, мин
А3110	—	1	2	2
А3120	—	1	2	2,5
А3130	—	1	3	3
А3140	—	1	4	4
А3160	2	—	2	1

1. Проверка тепловых элементов на срабатывание при пополюсной нагрузке испытательным током, равным двух- или трехкратному номинальному току расцепителя автомата.

2. Проверка характеристик тепловых элементов при одновременной нагрузке всех полюсов двухкратным (для автоматов А3160 и А3110) и трехкратным током (для автоматов А3120, А3130 и А3140). Время срабатывания расцепителя должно находиться в пределах, указанных в табл. XVI.3.

3. Проверка начального тока срабатывания автоматов, у которых при проверке двух- или трехкратным током время срабатывания не совпадает с данными табл. XVI.3.

Проверка электромагнитных элементов производится испытательным током для каждого полюса автомата отдельно. При проверке электромагнитных расцепителей испытательный ток от нагрузочного устройства устанавливается на 30% ниже тока уставки для автоматов А3110

и на 15% ниже тока уставки остальных автоматов. При этом токе автомат не должен отключаться. Затем испытательный ток повышают до отключения автомата. Ток срабатывания не должен превышать ток уставки больше чем на 30% для автоматов А3110 и на 15% — для остальных автоматов.

Электромагнитные элементы комбинированных расцепителей в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя следует проверять следующим образом.

К нагрузочному устройству подключают эквивалентное сопротивление, равное полному сопротивлению (суммарному сопротивлению теплового элемента, электромагнитного и коммутирующих контактов) одного полюса испытуемого автомата. Регулирующим устройством и ампер-

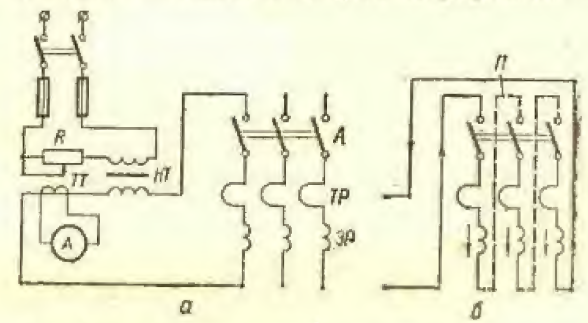


Рис. XVI.1. Схемы проверки тепловых и электромагнитных расцепителей автоматов серии А3100:
а — включение одной фазы автомата, *б* — включение трех фаз при одновременной нагрузке всех полюсов автомата испытательным током; *НТ* — нагрузочный трансформатор; *ТР* — тепловой расцепитель; *ЭР* — электромагнитный расцепитель; *А* — автомат; *П* — перемычка.

метром, включаемым в цепь эквивалентного сопротивления, устанавливают ток на 30% ниже уставки для автомата типа А3110 и на 15% ниже — для прочих автоматов. Не изменяя величины установившегося испытательного тока, от нагрузочного устройства отключают эквивалентное сопротивление. Вместо него поочередно включают все полюсы автомата, при этом автомат не должен отключаться. После этого эквивалентное сопротивление вновь присоединяют к нагрузочному устройству и устанавливают величину испытательного тока на 30% выше тока уставки — для автоматов типа А3110 и на 15% — для прочих автоматов. Затем, не изменяя величины установившегося испытательного тока, отключают от нагрузочного устройства эквивалентное сопротивление и поочередно включают все полюсы автомата. В этом случае автомат отключается под действием электромагнитных элементов. Чтобы убедиться в этом после каждого отключения, необходимо (пока не остыли тепловые элементы) попытаться включить автомат вручную. Если автомат включается нормально, значит, он был отключен от электромагнитного элемента. При срабатывании теплового элемента повторное включение автомата не происходит.

Схемы испытания расцепителей автоматов приведены на рис. XVI.1.

Дистанционный расцепитель автомата должен четко срабатывать в пределах 75 — 105% номинального напряжения.

Таблица XVI.3

Характеристика тепловых элементов при одновременной нагрузке всех полюсов автомата двукратным (тип А3160 и А3110) и трехкратным током (тип А3120, А3130 и А3140)

Тип автомата	Номинальный ток расцепителя, *а*	Испытательный ток, *а*, при различной температуре окружающего воздуха, °С									Предельное время срабатывания при одновременной нагрузке всех полюсов испытательным током, *сек*	Максимальное время нахождения автомата под испытательным током, *сек*
		0	5	10	15	20	25	30	35	40		
А3160	15	34	33	32	32	31	30	29	29	28	15—20	40
	20	45	44	43	42	41	40	39	38	37	18—23	45
	25	57	56	54	53	51	50	49	47	46	19—27	50
	30	67	66	64	63	62	60	59	57	55	25—35	70
	40	90	88	86	84	82	80	78	76	74	35—45	90
	50	114	112	109	106	103	100	97	94	91	58—78	150
А3110	15	37	35	34	33	32	30	29	27	25	19—27	50
	20	48	46	44	43	42	40	38	37	35	27—37	70
	25	59	57	55	54	52	50	48	47	45	35—45	90
	30	74	71	62	66	63	60	57	54	50	55—65	130
	40	96	91	89	86	83	80	77	74	70	50—80	160
	50	114	111	109	106	103	100	97	90	90	80—100	200
	60	137	133	131	127	124	120	116	113	109	70—90	180
	70	157	154	151	150	144	140	136	133	129	75—95	190
	85	190	187	187	182	174	170	166	162	156	110—140	240
	100	228	224	212	212	206	200	194	187	180	100—150	240
А3120	15	50	50	49	48	46	45	44	43	41	18—22	45
	20	67	66	65	64	62	60	59	57	55	16—22	45
	25	84	83	81	80	77	75	73	71	69	24—30	60
	30	101	99	97	96	92	90	88	85	83	28—38	70
	40	134	132	130	128	123	120	117	114	110	40—50	100
	50	168	165	162	161	154	150	146	143	138	50—60	120
	60	202	198	194	193	185	180	176	171	166	50—60	120
	80	269	264	259	257	246	240	234	228	221	70—80	160
	100	336	330	324	321	306	300	293	285	276	60—70	140
А3130	120	403	396	389	385	369	360	351	342	331	65—75	150
	140	470	462	454	449	431	420	410	399	386	65—75	150
	170	571	561	551	546	523	510	497	485	469	68—78	150
	200	672	660	648	642	615	600	585	570	552	78—88	170
А3140	250	840	825	810	803	769	750	731	713	690	60—70	140
	300	1008	990	972	963	923	900	878	855	828	65—75	150
	350	1176	1155	1134	1124	1076	1050	1024	998	966	65—75	150
	400	1344	1340	1296	1284	1230	1200	1170	1140	1104	50—60	120
	500	1680	1650	1620	1605	1538	1500	1463	1425	1380	50—60	120
	600	2016	1980	1944	1926	1845	1800	1755	1710	1656	65—75	150

При температуре окружающего воздуха + 40° С и относительной влажности 60 — 80% сопротивление изоляции выключателя в холодном состоянии должно быть не менее 10 *Мом*, а в прогретом (номинальным током расцепителя) — не менее 5 *Мом*.

Автоматические выключатели серии АП-50

Проверка расцепителей автоматов АП-50 проводится аналогично описанному выше. Токи срабатывания электромагнитных расцепителей автоматов АП-50 приведены в табл. XVI.4, защитные характеристики автоматов — на рис. XVI.2.

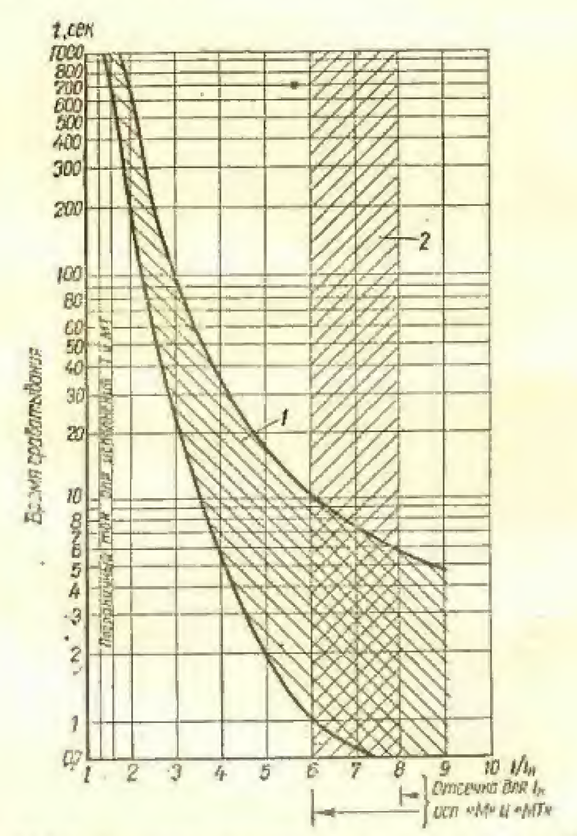


Рис. XVI.2. Защитные характеристики автоматов типа АП-50.

1 — зона разброса срабатываний для теплового расцепителя; *2* — зона разброса срабатываний для электромагнитного расцепителя.

Пределы регулировки номинального тока уставки тепловых расцепителей связаны с номинальными токами уставки следующим образом:

Ток уставки, *а*	1,6	2,5	4	6,4	10
Пределы регулирования, *а*	1—1,6	1,6—2,5	2,5—4	4—6,4	6,4—10
Ток уставки, *а*	16	25	40	50	
Пределы регулирования, *а*	10—16	16—25	25—40	30—50	

Тепловые расцепители не срабатывают в течение 1 *ч* при токе нагрузки, составляющем 1,1 тока уставки, срабатывают не более чем через

Таблица XVI.4

Ток мгновенного срабатывания, *а*, электромагнитных расцепителей автоматов АП-50

Номинальный ток уставки, *а*	Переменный ток при частоте, *гц*			Постоянный ток
	50	200	400	
1,6	11	15	16,5	14
2,5	17,5	23,5	25	22
4	28	30	34	36
6,4	45	50	52	57
10	70	80	85	90
16	110	125	150	140
25	175	—	—	320
40	280	—	—	352
50	350	—	—	440

30 *мин* при токе нагрузки, составляющем 1,35 тока уставки, и за 1—10 *сек*, если ток нагрузки в 6 раз больше тока уставки.

Уставку автомата регулируют рычагом на механизме свободного расцепления автомата. Время остывания теплового элемента после срабатывания расцепителя составляет не более 2 *мин*.

Сопротивление изоляции автомата при относительной влажности среды 75% должно быть в холодном состоянии не менее 20 *Мом*, в прогретом номинальным током — не менее 6 *Мом*.

Автоматические выключатели серии АВМ

Проверка и настройка автоматов серии АВМ производится в следующем объеме: 1) внешний осмотр; 2) проверка растворов, провалов и нажатий контактов; 3) проверка четкости работы механизма свободного расцепления; 4) испытание действия электромеханического привода и схемы

управления; 5) проверка действия независимого расцепителя и расцепителя минимального напряжения; 6) проверка характеристик максимальных расцепителей; 7) испытание изоляции.

При внешнем осмотре проверяется целость деталей, состояние главных и блокировочных контактов и дугогасительных камер, а также соответствие проекту автомата и его расцепителей.

Величину нажатия контактов определяют пружинным динамометром. Для этого при полностью включенном автомате измеряют усилие, необходимое для того, чтобы оттянуть контакт до освобождения проложенной между контактами полоски папиросной бумаги или до погаса-

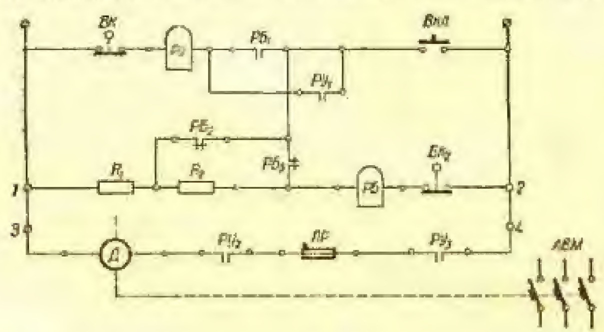


Рис. XVI.3. Принципиальная схема управления автоматом серии АВМ с электромеханическим приводом.

ния включенной последовательно с контактами сигнальной лампы. Направление усилия должно быть перпендикулярно плоскости касания контактов. Начальное нажатие контактов определяют при полностью отключенном аппарате описанным выше образом, но бумажная полоска закладывается между контактом и упором.

Раствор контактов измеряется непосредственно линейкой, штангенциркулем или шаблоном.

Величина провала контактов определяется в зависимости от конструктивного выполнения контактов измерением либо перемещения подвижного контакта, либо соответствующего зазора во включенном положении между подвижным контактом и его упором.

Четкость работы механизма, обеспечивающего свободное расцепление автомата в любом положении подвижных контактов, проверяют пятикратным включением автомата своим приводом и отключением его либо вручную, либо независимым расцепителем.

Принципиальная схема управления автоматом серии АВМ с электромеханическим приводом приведена на рис. XVI.3.

При подаче напряжения на схему управления с отключенным автоматом срабатывает реле блокировки (*РБ*). Замыкание контактов кнопки включения или контактов другого аппарата приводит к срабатыванию реле управления (*РУ*) в цепи включения. В результате через контакты *РУ* подается напряжение на двигатель, включающий автомат. *РУ* должно быть настроено на срабатывание при напряжении 85% номинального, при котором достигается четкая работа привода. При включении автомата цепь обмотки реле *РБ* размыкается блок-контактами *БК* автомата, однако обмотка *РУ* получает питание через свои контакты, шунтирующие контакты *РБ*, до срабатывания конечного выключателя *ВК*.

Схема управления исключает самопроизвольное повторное включение автомата при замкнутых контактах в цепи включения, если в процессе включения он отключился каким-либо расцепителем. В этом случае обмотка реле *РБ* остается зашунтированной контактами аппарата в цепи включения. Для того, чтобы при этом не возникало короткого замыкания, предусмотрено сопротивление. Схема предусматривает невозможность включения приводного двигателя при включенном автомате. Длительность импульса на включение автомата должна быть не менее 1 *сек*, но не более 30 *сек*. Последняя цифра определяется термической устойчивостью сопротивления.

Надежность работы электромеханического привода и схемы управления проверяют путем пятикратного включения и отключения автомата с 15-секундными интервалами между включениями (три включения при напряжении 110% номинального и два включения при напряжении 85% номинального). Проверяется при этом блокировка от повторного включения при длительном замыкании контактов в цепи включения, а также невозможность включения приводного электродвигателя при включенном автомате.

Для проверки действия независимого расцепителя измеряется минимальное напряжение надежного отключения автомата этим расцепителем, которое не должно превышать 50% номинального.

Действие расцепителя минимального напряжения проверяется в следующих режимах. Расцепители должны отключать автомат при снижении напряжения до 30% номинального и ниже. Расцепитель не должен препятствовать включению автомата с рукояткой или рычажным приводом при напряжении 70% номинального и выше, а автомата с электромеханическим приводом — при напряжении 85% номинального и выше.

Автоматы серии АВМ выпускаются со следующими исполнениями максимальнотоковой защиты: неселективные — с максимальными расцепителями с обратнозависимой от тока выдержкой времени при перегрузках и мгновенным срабатыванием при токах короткого замыкания; селективные — с максимальными расцепителями с обратнозависимой от тока выдержкой времени при перегрузках и независимой от тока выдержкой времени при токах короткого замыкания.

Выдержка времени максимальных расцепителей с обратнозависимой от тока характеристикой создается при помощи часового механизма, а выдержка времени расцепителей с независимой характеристикой создается при помощи механического замедлителя расцепления. При максимальной уставке часового механизма и токе, равном току наименьшей уставки на шкале перегрузок, выдержка времени составляет не менее 10 *сек*.

Проверка максимальнотоковой защиты автоматов заключается в определении тока трогания и времени срабатывания при этом токе максимальных расцепителей с обратнозависимой характеристикой, тока срабатывания максимальных расцепителей с независимой выдержкой времени и выдержки времени замедлителя расцепления, а также возврата максимальных расцепителей в исходное положение при снижении тока. В соответствии с техническими условиями расцепитель должен вернуться в исходное положение без отключения автомата при снижении тока от значения, равного наименьшей уставке тока перегрузки, до 75% номинального тока расцепителя, или от значения, равного наибольшей уставке тока перегрузки, до 100% номинального тока расцепителя в обоих случаях — по истечении $^2/_3$ выдержки времени, соответствующей данной уставке на шкале перегрузок.

Для максимальных расцепителей допускается отклонение от номинального тока срабатывания не более ± 10%. Отклонение времени

15 1-531

отключения селективных автоматов при токах короткого замыкания от уставки выдержки времени допускается на величину ± 15%.

Проверка максимальных расцепителей автоматов выполняется по схеме, приведенной на рис. XVI.4.

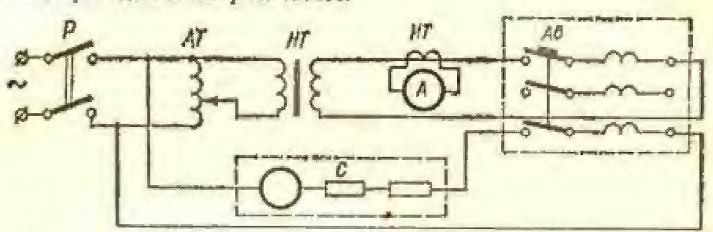


Рис. XVI.4. Схема проверки максимальных расцепителей автоматов серии АВМ:

Р — рубильник; *АТ* — автотрансформатор; *НТ* — нагрузочный трансформатор; *ИТ* — измерительный трансформатор; *АВ* — автомат; *С* — секундомер.

В условиях производственного отапливаемого помещения сопротивление изоляции всех токоведущих частей автомата, соединенных между собой по отношению к корпусу, должно быть не менее 20 *Мом* в холодном состоянии и не менее 6 *Мом* — в горячем.

При наладке выдвижных автоматов необходимо проверить четкость работы механической блокировки, препятствующей разъединению и замыканию главных контактов при включенном автомате.

Быстродействующие автоматические выключатели постоянного тока

Общие технические требования и методы испытаний определены ГОСТом 2585-57.

Выключатели типа ВАБ-28

Выключатели типа ВАБ-28 предназначены для защиты ртутнопреобразовательных агрегатов при обратных зажиганиях (катодные выключатели), а также для защиты фидеров при перегрузках и токах короткого замыкания (линейные выключатели).

Принцип действия катодных выключателей поясняется на рис. XVI.5. Величина потока *2*, притягивающего якорь *4*, определяется числом ампер-витков удерживающей катушки *3*. Увеличение главного тока при прямом его направлении не может повлечь за собой отключение выключателя, так как оба потока имеют одинаковое направление. При обратном зажигании магнитное сопротивление для потока удерживающей катушки растет по мере увеличения обратного тока вследствие насыщения магнитопровода вокруг шины главного тока, и действие удерживающей катушки резко снижается. Главные пружины отрывают якорь, который, придя в движение, ударяет толкателями по подвижным контактам и размыкает их.

Дистанционное включение выключателя осуществляется путем кратковременной форсировки удерживающей катушки. Для отключения выключателя кратковременно изменяется направление тока в удерживающей катушке. Длительный ток удерживающей катушки 1 *а*, ток включения 60 *а*, обратный ток для отключения 2 *а*.

Принципиальная схема управления автоматом типа ВАБ-28 приведена на рис. XVI.6

Катодные выключатели калибруются заводом, величина уставки не нормируется и регулировка не производится.

В линейных выключателях шина главного тока не проходит через окно магнитопровода, и для отключения автомата при коротких замыканиях служит реле — дифференциальный шунт РДШ, устанавливаемый в защищаемой цепи отдельно от выключателя.

Дистанционное включение выключателя осуществляют путем кратковременной форсировки удерживающей катушки, отключение выключателя — разрывом цепи удерживающей катушки. Для достижения быстродействия ВАБ-28 при обрыве цепи его удерживающей катушки место обрыва шунтируют конденсаторами определенной емкости. При наладке выключателей ВАБ-28 выполняют следующие работы.

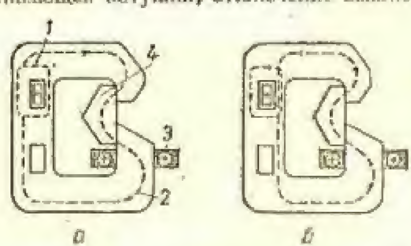
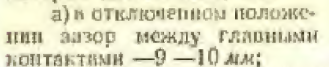


Рис. XVI.5. Магнитная система выключателей типа ВАБ-28.

1. Проверка и регулировка выключателя, в процессе которых достигается, что:



а) в отключенном положении зазор между главными контактами — 9 — 10 *мм*;

б) дугогасительные контакты замыкаются, опережая главные контакты на 2—3 *мм*;

в) при зазоре между контактами, равном 9—10 *мм*, контактные рычаги доходят до упора;

г) зазор между якорем и нижним полюсом магнитопровода по средней линии равен 12 ± 1 *мм* и при этом щеки якоря касаются упора;

д) натяг каждой из главных пружин во включенном положении равен 150 *кг* (проверяется с помощью рычага);

е) нажатие контактов выключателя на 1500 *а* составляет 18—20 *кг*, выключателя на 3000 и 6000 *а* — 23—25 *кг*;

ж) во включенном положении выключателя практически нет зазора между якорем и полюсами магнитопровода, зазор между толкателями и подвижными контактами — 1,4—2 *мм*.

2. Проверка работы блокировочных контактов.

3. Проверка после установки камер их свободного перемещения между полюсами магнитного дутья.

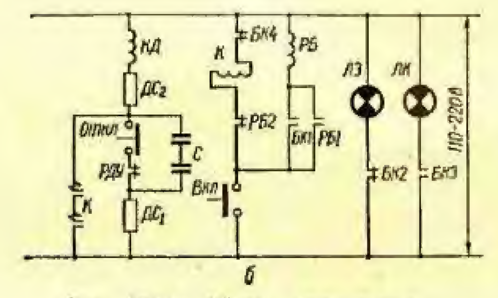
4. Измерение сопротивления постоянному току удерживающей катушки (сопротивление должно быть в пределах 2 ± 0,2 *ом*).

5. Измерение сопротивления изоляции подвижного контакта относительно неподвижного, подвижного контакта относительно земли, штока коммутатора относительно рамы выключателя и держащей катушки относительно рамы выключателя. Измерение выполняют мегомметром на 2500 *в*. Величина сопротивления изоляции не нормируется.

Перед включением в работу выключателей с номинальным напряжением выше 600 *в* камеры следует просушить. Сопротивление изоляции камер должно быть не менее 10 *Мом*.

6. Испытание изоляции выключателя повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений

а



б

Рис. XVI.6. Схемы управления:
а — катодным выключателем; *б* — линейным выключателем.

(ГОСТ 2585-57) приведены в табл. XVI.5. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин.*

7. Опробование дистанционного управления выключателя. При этом убеждаются в том, что:

а) выключатель выдерживает десять включений и отключений с интервалами 5—10 *сек;*

б) выключатель надежно включается и удерживается во включенном положении при изменении напряжения цепей управления от 110 до 80% номинального.

При опробовании дистанционного управления проверяется действие блокировки от многократного включения («звонковости»).

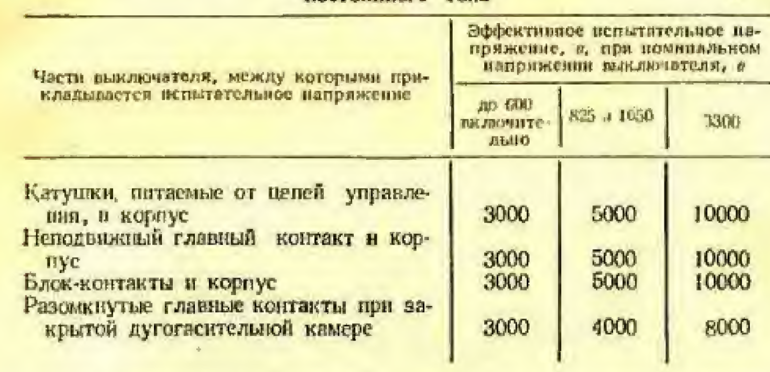
8. Проверка правильности работы свободного расцепления. Между разомкнутыми главными контактами закладывается полоска чистой белой бумаги, после чего замыканием контактов контактора *К* вручную подают включающий импульс на удерживающую катушку. Снимают импульс и вынимают полоску бумаги. При правильной работе свободного расцепления на бумаге не будет отпечатка от удара контактов.

9. Регулировка реле РДШ проводится на стенде, оборудованном многоамперным источником постоянного тока.

Положение реле при регулировке должно соответствовать его рабочему положению. Для предотвращения влияния магнитного поля выключателя реле РДШ следует устанавливать на расстоянии не менее 1 *м* от последнего.

Таблица XVI.5

Величины испытательных напряжений промышленной частоты изоляции однополюсных быстродействующих автоматических выключателей постоянного тока



Части выключателя, между которыми прикладывается испытательное напряжение	Эффективное испытательное напряжение, *в*, при номинальном напряжении выключателя, *в*		
	до 600 включительно	825 и 1650	3300
Катушки, питаемые от цепей управления, в корпус	3000	5000	10000
Неподвижный главный контакт и корпус	3000	5000	10000
Блок-контакты и корпус	3000	5000	10000
Разомкнутые главные контакты при закрытой дугогасительной камере	3000	4000	8000

10. Согласование направления главного тока и тока в удерживающей катушке для предотвращения отключения выключателя при прямом токе (для катодных выключателей).

Выключатели типа АБ-2/4

Выключатели типа АБ-2/4 предназначены для защиты ртутнопреобразовательных агрегатов от коротких замыканий, перегрузок и обратных токов. Выключатель типа АБ-2/4 — поляризованный и может служить либо только для защиты от обратных токов, либо от коротких замыканий и перегрузок. Выключатель типа АБ-2/4 не имеет существенных отличий от ранее выпускавшегося выключателя типа ВАБ-2. На рис XVI.7 приведен общий вид магнитопровода выключателя типа АБ-2/4. Для осуществления защиты от обратных токов направление тока удерживающей катушки *12* может быть произвольным, а направление тока в размагничивающем витке *16* должно создавать в нормальной работе поток, совпадающий по направлению с потоком удерживающей катушки в сердечнике, на котором расположена включающая катушка *14*. При аварийном режиме направление тока в размагничивающем витке *16* меняется. В результате наложения потока размагничивающего витка на поток удерживающей катушки в сердечнике, на котором расположена включающая катушка, сила, удерживающая якорь *17* во включенном положении, исчезает. При этом направление магнитных потоков размагничивающего витка и удерживающей катушки в сердечнике *15* совпадает, вследствие чего якорь быстро переходит в отключенное положение.

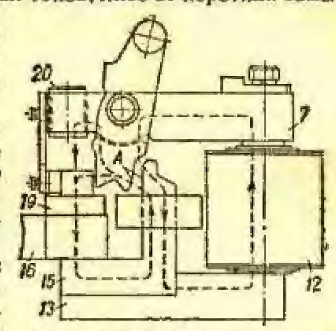


Рис. XVI.7. Общий вид магнитопровода выключателя автоматического быстродействующего постоянного тока типа АБ-2/4.

Для защиты от перегрузок и коротких замыканий достаточно изменить направление тока в размагничивающем витке или в удерживающей катушке. Тогда ток, протекая по размагничивающему витку, постепенно ослабляет поток, удерживающий якорь. При какой-то величине потока якорь отпадает, переходя в отключенное положение. Величина тока срабатывания регулируется винтом *20*, изменяющим воздушный зазор и,

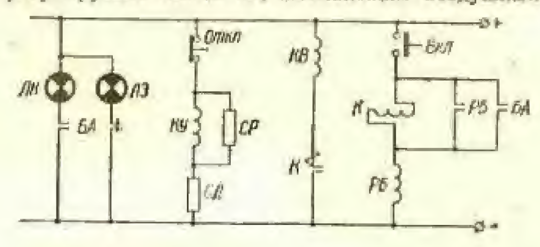


Рис. XVI.8. Принципиальная схема цепей управления выключателя автоматического быстродействующего постоянного тока типа АБ-2/4.

следовательно, магнитную проводимость цепи магнитного потока. Величину тока срабатывания для выключателей обратного тока можно также регулировать за счет снижения напряжения на удерживающей катушке. В выключателе типа АБ-2/4 предусмотрена калибровочная катушка *19*, позволяющая выполнять калибровку выключателя без источника постоянного тока большой силы.

Принципиальная схема управления выключателем типа АБ-2/4 приведена на рис. XVI.8. Для предотвращения многократного включения автомата на короткое замыкание в схеме предусмотрено блокирующее реле *РБ*. При нажатии кнопки включения срабатывает только контактор *К*. *РБ* регулируется таким образом, чтобы напряжение на его зажимах при последовательно включенной обмотке контактора *К* было ниже минимального напряжения срабатывания. После включения контактора блок-контакты *БА* шунтируют катушку контактора *К*, разрывающего цепь включающей катушки, и замыкают цепь катушки блокирующего реле. В случае отключения автомата при замкнутых котактах кнопки включения повторное включение автомата не происходит, так как катушка контактора *К* остается зашунтированной контактами *РБ*, получающего питание через эти же контакты до размыкания контактов кнопки включения.

Удерживающая катушка *КУ* находится все время под напряжением. Если под действием включающей катушки якорь переводится во включенное положение, то удерживается он в этом положении под действием удерживающей катушки.

Для включения автомата необходимо согласовать направления токов во включающей и удерживающей катушках, чтобы магнитные потоки в сердечнике, на котором расположена включающая катушка, имели одинаковое направление.

Допустимые колебания напряжения на зажимах удерживающей катушки выключателя типа АБ-2/2 составляют 80—110% номинального напряжения (при таких колебаниях напряжения изменения тока уставки будут находиться в пределах ± 7%).

По сравнению с автоматом типа ВАБ-28 наладка автомата типа АБ-2/4 имеет следующие особенности.

Перед включением автомата его калибруют. Выключатели, независимо от назначения, калибруют как выключатели прямого тока. У выключателей, предназначенных для защиты от обратных токов, после калибровки изменяется на обратное направление токов в удерживающей и включающей катушках. Калибровку можно проводить главным током (если есть источник постоянного тока большой величины) или при помощи калибровочной катушки на постоянном токе без тока в главной цепи.

Калибровка автомата главным током может производиться от низковольтного генератора напряжением 6—12 *в*, ртутного выпрямителя с сеточным управлением при его формовке в режиме короткого замыкания, ртутного выпрямителя без сеточного управления с использованием водяного нагрузочного реостата.

Калибровку выключателя главным током проводят в следующем порядке.

1. Прогревают удерживающую катушку до установившейся температуры. Величина тока в катушке должна соответствовать паспортным данным (0,42—0,5 *а*).
2. Измеряется давление между главными контактами, которое должно находиться в пределах 20—25 *кг*.
3. Очищается и протирается тряпкой плоскость «А» (см. рис. XVI.7) стыка якоря с электромагнитом.
4. Плавно повышая ток, определяют величину тока отключения выключателя.

Для предохранения от обгорания перед калибровкой контакты выключателя шунтируют гибким проводом сечением 120 *мм*².

Калибровка при помощи калибровочной катушки осуществляется следующим образом. В комплект автоматов типа АБ-2/4 входит график калибровочной кривой, выражающей соотношение между током в ка-

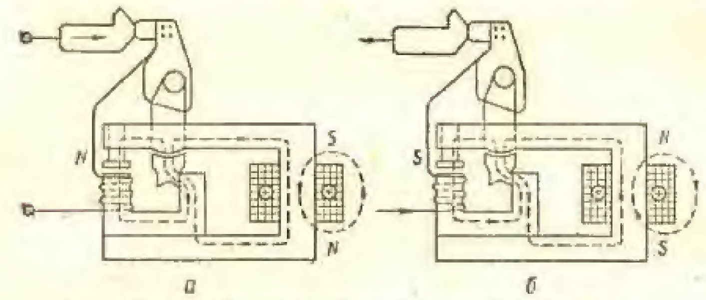


Рис. XVI.9. Магнитная система выключателя АБ-2/4.

либровочной катушке и током в главной цепи. При установившейся температуре и номинальном токе удерживающей катушки и включенном выключателе в калибровочной катушке устанавливается величина тока, соответствующая по калибровочной кривой заданному току уставки в главной цепи. Изменением положения регулировочного винта добиваются отключения автомата. Полученное положение регулировочного винта будет соответствовать заданному току уставки.

Перед включением автомата в работу проверяют его поляризацию. На рис. XVI.9 схематично представлены магнитные системы выключателя с нанесенными направлениями магнитных потоков. Рис. XVI.9, *а* соответствует случаю, когда ток главной цепи проходит от неподвижного контакта выключателя к подвижному и направление намотки размагни-

чивающего витка таково, что в верхней части сердечника, на котором находится размагничивающий виток, возникает северный полюс. В этом случае выключатель будет отключаться при перегрузках, если сердечник, на котором находится удерживающая катушка, будет поляризован так, что снизу оказывается северный полюс, а сверху — южный.

На рис. XVI.9, *б* направление главного тока противоположное. В этом случае отключение выключателя при перегрузках возможно лишь, если нижний конец сердечника витка главного тока имеет северный полюс, а северный полюс сердечника, удерживающий катушки, находится в верхней его части. Таким образом для определения поляризации выключателя нужно установить полярность на концах сердечников удерживающей катушки и катушки главного тока. Если сверху полярности одинаковы, выключатель поляризован на обратный ток и ни при каких значениях прямого тока не отключится, и, наоборот, при разной полярности намагничивания сердечников выключатель поляризован на прямой ток и отключается при достижении током величины уставки.

Полярность намагничивания сердечников легко может быть проверена компасом или постоянным магнитом, полярность которого известна.

Необходимое направление тока во включающей катушке может быть определено проверкой полярностей включающей и удерживающей катушек (см. гл. III). Однополярные зажимы этих катушек должны быть подключены к одному полюсу источника оперативного тока. Этот метод может быть использован и для согласования токов в размагничивающем витке и удерживающей катушке.

Выключатели типа ВАБ-1500М

Выключатель типа ВАБ-20-1500М предназначен для защиты ртутных выпрямителей от обратных токов, а также для защиты фидеров при перегрузках и коротких замыканиях.

Включающая и отключающая катушки автомата рассчитаны для работы на переменном токе (автоматы не имеют удерживающей катушки).

Наладку выключателей типа ВАБ-20-1500М целесообразно проводить в следующем объеме.

1. Проверить в отключенном положении расстояние между главными контактами. Оно должно соответствовать указанному в заводской документации.
2. Проверить давление между контактами, которое должно составлять 15 *кг*.
3. Проверить плотность прилегания якоря к полюсам электромагнита в притянутом положении. Якорь должен плотно прилегать к обоим полюсам.
4. Проверить свободный ход якоря в сторону полюсов в запертом защелкой положении контактного рычага. Измеренный на защелке свободный ход контактного рычага 1,5 —2 *мм*.
5. Проверить работу механизма свободного расцепления. Для этого выключатель отключают вручную или дистанционно и, медленно двигая якорь электромагнита включения вручную, доводят его до плотного соприкосновения с полюсами; при этом выключатель не должен включиться. Резкий удар ладонью руки по якорю электромагнита включения должен приводить к включению выключателя, что будет свидетельствовать о правильной работе механизма свободного расцепления.
6. Измерить сопротивление постоянному току включающей и отключающей катушек.
7. Измерить сопротивление изоляции токоведущих частей автомата и испытать повышенным напряжением переменного тока (величины испытательных напряжений приведены в табл. XVI.5).
8. Опробовать отключение и включение выключателя по нормальной схеме.
9. Определить ток главной цепи, при котором происходит подтягивание якоря главного электромагнита. Перед пропусканием тока через выключатель необходимо для предотвращения обгорания его контактов зашунтировать их гибким проводом сечением 240 *мм*^{2}.
10. Отградуировать реле максимального тока.

Выключатели типа 6×ВАБ-36

Агрегат анодной защиты типа 6 × ВАБ-36 применяется для защиты мощных ртутных выпрямителей. Агрегат 6 × ВАБ-36 состоит из шести независимых, совершенно одинаковых по конструкции выключателей. Выключатели являются неполяризованными и откалибровываются на уставку 5000 *а*.

При наладке агрегата 6 × ВАБ-36 проводят следующие работы.

1. Проверяют зазоры между контактами: в отключенном положении зазор между главными контактами должен быть 11—13 *мм*, при этом зазоре якорь должен вплотную подходить к магнитопроводу, а подвижный контакт доходит до упора.
2. Проверяют легкость хода и отсутствие люфта осей.
3. Проверяют контактное давление: во включенном положении полюса давление между его контактами должно быть 20 *кг*. На втычных контактах предварительное нажатие пружины должно быть 32 *кг*, а сжатие пружины 2,5 *мм*. При вкатывании пружина должна сжаться на 2 *мм* (полный ход 4,5 *мм*), сила сжатия пружины 58 ± 5 *кг*.
4. Проверяют надежность защелкивания якоря при включении выключателя.
5. Убеждаются, что во включенном положении зазор по средней линии между якорем и магнитопроводом 8 ± 1 *мм*.
6. Измеряют зазор между ударным болтом якоря и подвижным контактом во включенном положении полюса. Нормальный зазор — 3 ± ± 0,5 *мм*.
7. Убеждаются, что уставка защиты полюса в пределах 500—5000 *а*.
8. Устанавливают, что при отключении полюса якорь освобождается от защелки в тот момент, когда между ударным болтом якоря и подвижным контактом еще остается зазор, равный 1,5 *мм*.
9. Измеряется сопротивление постоянному току включающей катушки каждого полюса, которое должно быть 2,4 ± 0,12 *ом*, и отключающей катушки, которое должно составлять 0,96 ± 0,05 *ом*.
10. Проверяется плотность смыкания контактов. Во включенном положении линия касания контактов должна находиться посредине контактной поверхности.
11. Убеждаются в правильной работе механизма свободного расцепления, которая заключается в том, что включающий якорь в притянутом положении удерживает подвижный контакт на расстоянии 2—3 *мм* от неподвижного.
12. Проверяется работа блок-контактов.
13. Измеряется сопротивление изоляции токоведущих частей автомата и испытание повышенным напряжением переменного тока (величины испытательных напряжений приведены в табл. XVI.6, ГОСТ 2585-57).

14. Испытывается дистанционное включение и отключение выключателей по нормальной схеме (рис. XVI.10). Выключатели должны выдержать десять включений и отключений с интервалами 5—10 *сек*, надежно включаться и отключаться при изменении напряжений цепей управления от 110 до 80% номинального.

Таблица XVI.6

Испытательные напряжения промышленной частоты изоляции шестиполюсных быстродействующих автоматических выключателей постоянного тока

Части выключателя, между которыми прикладывают испытательное напряжение	Испытательное напряжение, *в*, при номинальном выпрямленном напряжении не более 825 *в*
Катушки подмагничивания и корпус	7500
Неподвижные главные контакты и корпус	7500
Разомкнутые главные контакты при закрытой дугогасительной камере	4000

При наладке быстродействующих автоматов постоянного тока необходимо помнить, что корпусы автоматов находятся под рабочим напряжением.

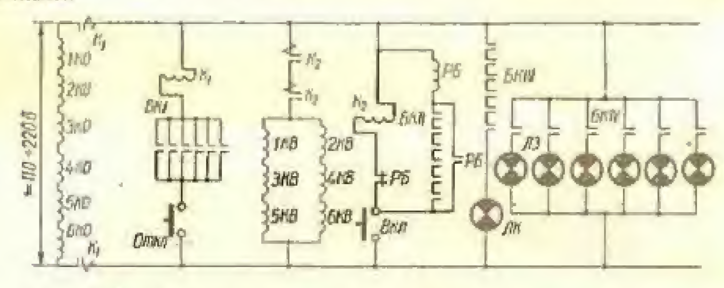


Рис. XVI.10. Схема управления агрегатом анодной защиты 6 × ВАБ-36.

Подключение выключателей к фазам трансформатора следует проводить так, чтобы выключатели, подключенные к четным и нечетным фазам трансформатора, чередовались.

Предохранители низкого напряжения [ГОСТы 3041-45, 7541-55, 1138-63]

Проверка предохранителей при новом включении проводится в следующем объеме.

1. Внешний осмотр, чистка, проверка контактных соединений.
2. Проверка правильности выбора номинального тока плавкой вставки.

Предохранители должны удовлетворять следующим условиям.

1. Должна быть справедлива зависимость

$$U_{п.ном} \geq U_c, \qquad (XVI.1)$$

где $U_{п.ном}$ — номинальное напряжение предохранителя; U_c — напряжение сети.

2. Должна быть справедлива зависимость

$$I_{пред} \geq I_{к.з\,max}, \qquad (XVI.2)$$

где $I_{пред}$ — предельный ток, отключаемый предохранителем; $I_{к.з.max}$ — максимальный ток короткого замыкания в цепи, защищаемой предохранителем.

3. При установке на защищаемом присоединении магнитных пускателей

$$\frac{I_{к.з}}{I_{в.ном}} \geq 20, \qquad (XVI.3)$$

где $I_{в.ном}$ — номинальный ток плавкой вставки предохранителя.

Если нет тепловой защиты, допустимо

$$\frac{I_{к.з}}{I_{в.ном}} \geq 10. \qquad (XVI.4)$$

4. Ток двухфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка в сетях с изолированной нейтралью должен быть не менее утроенного номинального тока плавкой вставки или не менее 125% тока отключения максимального расцепителя автомата. В установках с глухим заземлением нейтрали ток однофазного короткого замыкания должен быть не менее утроенного номинального тока плавкой вставки или расцепителя автомата с обратнозависимой от тока характеристикой. Для автоматов, имеющих только мгновенный расцепитель, ток однофазного короткого замыкания в конце защищаемого участка должен быть больше уставки тока срабатывания расцепителя (с учетом разброса тока срабатывания) в 1,1 раза.

Проверочный расчет кратности тока короткого замыкания можно не делать, если по отношению к допустимым токовым нагрузкам защищаемого присоединения кратность защитных аппаратов не более:

300% — для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
450% — для тока уставки автомата, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель;
100% — для номинального тока расцепителя автомата с нерегулируемой обратнозависимой от тока характеристикой (независимо от отсечки);
150% — для тока трогания расцепителя автомата с регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой; кратность тока срабатывания отсечки в этом случае не ограничивается.

5. Номинальный ток плавкой вставки (расцепителя автомата) рассчитывается по формуле

$$I_{в.ном} = kI_{н.max}, \qquad (XVI.5)$$

где k — коэффициент надежности, величина которого зависит от характера нагрузки; при постоянной нагрузке $k = 1,1 - 1,2$; $I_{н.max}$ — максимальный ток нагрузки.

Номинальные токи плавких вставок предохранителей в зависимости от типа защищаемого оборудования должны удовлетворять следующим условиям.

а. Для короткозамкнутых асинхронных двигателей с легкими условиями пуска

$$I_{в.ном} = \frac{kI_{д.ном}}{2,5}; \qquad (XVI.6)$$

с тяжелыми условиями пуска

$$I_{в.ном} = \frac{kI_{д.ном}}{1,5 \div 2}, \qquad (XVI.7)$$

где k — кратность пускового тока; $I_{д.ном}$ — номинальный ток защищаемого двигателя.

б. В жилых домах, бытовых и общественных помещениях

$$I_{в.ном} = 0,8 I_{доп.пр}, \qquad (XVI.8)$$

где $I_{доп.пр}$ — длительно допустимый ток защищаемых проводов.

в. В цепях вторичной коммутации (оперативного тока, контрольно-измерительных приборов, измерительных трансформаторов напряжения и др.) плавкие вставки выбираются по токам короткого замыкания.

Малая длительность перегорания вставки достигается, если выполнено условие

$$\frac{I_{к.з}}{I_{в.ном}} \geqslant 10. \qquad (XVI.9)$$

В цепях вторичной коммутации применяются закрытые предохранители с плавкими вставками 6—10 *а*. Номинальный ток плавкой вставки в цепях трансформаторов напряжения должен быть на 25—30% больше тока, потребляемого цепями напряжения в аварийном режиме. При защите цепей трансформаторов напряжения автоматами должен быть обеспечен коэффициент чувствительности

$$k_ч = \frac{I_{к.з\,min}}{I_{уст}} \geqslant 2, \qquad (XVI.10)$$

где $I_{уст}$ — ток срабатывания электромагнитного расцепителя автомата. Тепловой расцепитель должен быть выведен из работы.

г. Для защиты электромагнитов включения соленоидных приводов масляных выключателей принимается номинальный ток плавкой вставки

$$I_{в.ном} = (0,3 \div 0,33)\, I_э. \qquad (XVI.11)$$

где $I_э$ — номинальный ток электромагнита включения.

д. Для защиты аккумуляторных батарей типа С и СК плавкие вставки выбираются следующим образом.

В случае батарей типа С плавкая вставка выбирается на 2,5-кратный ток трехчасового режима разряда

$$I_{в.ном} \geqslant 2,5 \cdot 9N \geqslant 22,5N. \qquad (XVI.12)$$

где N — номер батареи типа С и СК.

В батареях типа СК плавкая вставка выбирается из расчета двухкратного тока одночасового режима разряда

$$I_{в.ном} \geqslant 2 \cdot 18,5N \geqslant 37N. \qquad (XVI.13)$$

Аналогично выбирается уставка теплового расцепителя автомата. При этом электромагнитный расцепитель следует заблокировать.

При определении номинальных токов плавких вставок предохранителей должна учитываться селективность работы. Для селективности последовательно включенных предохранителей номинальный ток плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания, должен быть по шкале номинальных токов предохранителей на одну ступень (для токов до 160 *а* включительно) или на две ступени (для токов свыше 160 *а*) больше номинального тока вставки следующего, более удаленного от источника питания предохранителя.

Таблица XVI.7

Сечение, $мм^2$, проволоки из разных металлов, плавящейся при определенном токе

Величина тока, *а*	Свинец	Сплав: 75% свинца, 25% олова	Медь	Железо
1	0,21	—	0,05	0,12
2	0,33	—	0,09	0,19
3	0,43	—	0,11	0,25
4	0,52	—	0,14	0,30
5	0,60	0,62	0,16	0,42
10	0,95	0,98	0,25	0,55
15	1,25	1,28	0,33	0,72
20	1,54	1,56	0,40	0,87
25	1,76	1,80	0,46	1,01
30	1,98	2,04	0,52	1,15
40	2,40	2,47	0,63	1,39
50	2,78	2,86	0,73	1,61
60	3,14	3,24	0,82	1,81
70	3,48	3,59	0,91	2,01
80	3,81	3,92	1,00	2,20
90	4,12	4,24	1,08	2,38
100	4,42	4,55	1,16	2,55
120	4,99	5,14	1,31	2,88
140	5,53	5,70	1,45	3,19
160	6,04	6,23	1,59	3,49
180	6,53	6,74	1,72	3,77
200	7,01	7,23	1,84	4,05
250	8,14	8,38	2,14	4,70
275	8,67	8,94	2,28	—
300	9,19	9,47	2,41	—

В табл. XVI.7 приведены приближенные значения токов плавления проволоки различных сечений из разных металлов.

Магнитные пускатели

Основные технические данные широко распространенных выпускаемых промышленностью магнитных пускателей серии ПМЕ и ПА приведены в табл. XVI.8.

Таблица XVI.8

Основные технические данные магнитных пускателей типа ПМЕ и типа ПА

Пускатель	Наибольшая мощность управляемого двигателя, *квт*, при напряжении, *в*				Обмоточные данные катушек при: Диаметр провода без изоляции, *мм* при напряжении, *в*					Число витков при напряжении, *в*					Ток катушки, *а*, в притянутом состоянии якоря при напряжении, *в*				Сопротивление катушки, *ом*, при 20° С и напряжении, *в*				
	127	220	380	500	36	127	220	380	500	36	127	220	380	500	127	220	380	500	36	127	220	380	500
ПМЕ-000	0,27	0,6	1,1	—	0,31	0,16	0,12	0,09	—	800	3000	5300	9000		—	—	—	—	15±1,5	270±30	690±60	2040±±170	—
ПМЕ-100	1,1	2,2	4	4	0,38	0,2	0,15	0,11	0,1	660	2400	4150	7170	9430	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ПМЕ-200	3,3	5,5	10	10	0,67	0,35	0,27	0,20	0,18	426	1500	2600	4500	5900	—	—	—	—	2,4	30,5	89,5	282	457
ПА-300	4	10	17	17	0,57	0,31	0,25	0,19	0,16	378	1330	2280	3800	5180	0,28	0,14	0,1	0,075	—	—	—	—	—
ПА-400	10	17	28	28	0,90	0,47	0,35	0,27	0,23	260	920	1600	2760	3640	0,49	0,28	0,16	0,12	—	—	—	—	—
ПА-500	17	30	55	55	1,20	0,64	0,49	0,35	0,31	198	700	1200	2070	2730	0,6	0,36	0,22	0,16	—	—	—	—	—
ПА-600	22	40	75	75	1,56	0,83	0,62	0,47	0,41	147	516	890	1540	2020	0,9	0,52	0,29	0,22	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Катушки пускателей серии ПМЕ намотаны проводом марки ПЭВ-2. Сопротивления катушек пускателей ПМЕ-200 могут отличаться от приведенных данных на ±8%. 2. Пусковой ток катушек пускателей серии ПА не больше 10-кратного тока, потребляемого катушкой при притянутом состоянии якоря.

Минимальное напряжение на зажимах втягивающей катушки, при котором включение пускателя надежно, должно быть не выше 85% номинального. Мощность, потребляемая катушками, приведена в табл. XVI.9.

Таблица XVI.9

Мощность, *ва*, потребляемая катушкой при номинальном напряжении

Пускатель	В пусковом режиме	В притянутом состоянии
ПМЕ-000	60	12
ПМЕ-100	120	24
ПМЕ-200	200	30

Пускатели изготовляются с тепловыми реле, осуществляющими тепловую защиту электродвигателей, и без тепловых реле. В пускателях серии ПМЕ и пускателях третьей величины серии ПА использованы двухполюсные тепловые реле с температурной компенсацией серии ТРН, в пускателях четвертой — шестой величин серии ПА устанавливаются тепловые реле серии ТРП. Магнитные пускатели не рассчитаны на отключение токов короткого замыкания.

Наладочные работы по магнитным пускателям, являющимся разновидностью контакторов переменного тока, проводятся в том же объеме, что и для контакторов; дополнительно осуществляется наладка тепловых реле. Методика наладки контакторов и тепловых реле приведена ниже.

Тепловые реле

В однофазных реле серии ТРП внутри биметаллического элемента реле, имеющего U-образную форму, расположен нихромовый нагреватель. Нагрев термоэлементов осуществляется комбинированным способом: ток проходит через нагреватель и частично через биметалл. Реле допускают регулировку тока уставки в пределах ±25%. Регулировку

осуществляют с помощью механизма уставки, изменяющего натяжение ветвей термоэлемента. Механизм имеет шкалу, на которой нанесено по пять делений в обе стороны от нуля. Цена деления 5% для открытого исполнения и 5,5% — для защищенного. При температуре окружающей среды ниже +30° С вносится поправка в пределах шкалы реле: одно деление шкалы соответствует изменению температуры на 10° С. При отрицательных температурах стабильность защиты нарушается.

Деление шкалы, соответствующее току защищаемого электродвигателя и окружающей температуре, выбирают следующим образом.

Определяется деление шкалы уставок тока без температурной поправки по выражению

$$\frac{I_{эл} - I_0}{cI_0} = \pm N_1, \qquad \text{(XVI.14)}$$

где $I_{эл}$ — номинальный ток электродвигателя; I_0 — ток нулевой уставки реле; c — цена деления, равная 0,05 для открытых пускателей и 0,055 — для защищенных.

Затем вводится поправка на окружающую температуру

$$\frac{t_{окр} - 30}{10} = -N_2, \qquad \text{(XVI.15)}$$

где $t_{окр}$ — температура окружающей среды.

Поправка на температуру вводится только при понижении температуры от номинальной (+40° С) на величину более 10° С.

Результирующее расчетное деление шкалы

$$\pm N = (\pm N_1) + (-N_2). \qquad \text{(XVI.16)}$$

Если N оказывается дробным числом, его следует округлить до целого в большую или меньшую сторону в зависимости от характера нагрузки.

Самовозврат реле осуществляется пружиной после остывания биметалла или вручную (ускоренный возврат) рычагом с кнопкой.

Реле серии ТРН — двухполюсные с температурной компенсацией. Кинематическая схема реле серии ТРН приведена на рис. XVI.11. Термоэлемент *2* нагревается от нагревательного элемента *1*. Компенсатор реле *4* выполнен из биметалла с обратным прогибом по отношению к основному термоэлементу. Работа реле серии ТРН почти не зависит от окружающей температуры. Изменение тока уставки реле осуществляется изменением зазора между компенсатором *4* и защелкой *9*. Реле типа ТРН-10А позволяют регулировать ток уставки в пределах от —20 до +25%;

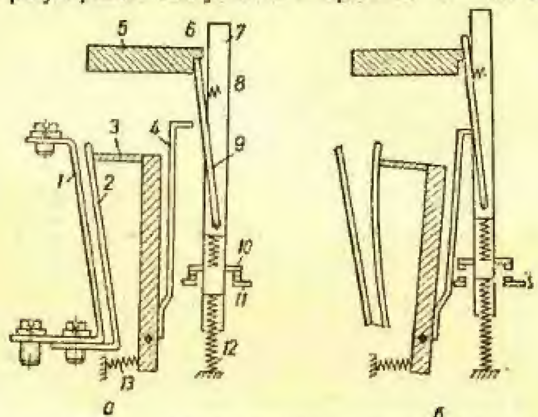


Рис. XVI.11. Кинематическая схема теплового реле типа ТРН:

а — до срабатывания; *б* — после срабатывания; *1* — нагреватель; *2* — термобиметалл; *3* — держатель; *4* — термобиметаллический компенсатор; *5* — эксцентрик; *6* — упор; *7* — траверса; *8* — пружина; *9* — защелка; *10* — контактный мостик; *11* — неподвижные контакты; *12* — пружина траверсы; *13* — пружина кулисы.

реле типов ТРН-10, ТРН-25 — в пределах от —25 до +30%. Реле имеют только ручной возврат, осуществляемый нажатием на кнопку через 1—2 *мин* после срабатывания реле.

Защитные характеристики тепловых реле различных серий (при нагреве от холодного состояния) приведены на рис. XVI.12.

Согласно требованиям ГОСТов, встроенное в пускатель тепловое реле, через которое в течение длительного времени проходит номинальный ток, должно сработать не более чем через 20 *мин* после наступления перегрузки 20%.

Для настройки реле под током собирают схему, приведенную на рис. XVI.13. Предварительно в течение 2 *ч* через контакты пускателя и нагревателя тепловых реле пропускают номинальный ток (катушка пускателя находится под номинальным напряжением). Затем ток повышают до $1{,}2I_{ном}$ и проверяют время срабатывания реле. Если через 20 *мин* со времени повышения тока реле не сработает, то следует постепенным снижением уставки найти такое положение, при котором реле сработает. Затем снизить ток до номинального, дать аппарату остыть и вновь повторить опыт при токе $1{,}2I_{ном}$.

Если при первоначальной проверке реле срабатывает слишком быстро (менее чем за 10 *мин*), ток следует снизить до номинального, увеличить уставку и после проверки аппарата повторить опыт.

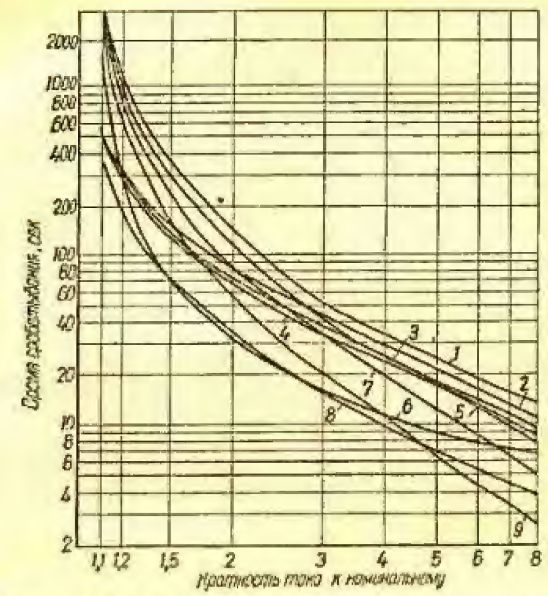


Рис. XVI.12. Защитные характеристики тепловых реле различных серий (при нагреве с холодного состояния):

1 — РТ; *2* — ТРН-10; *3* — ТРН-25; *4* — ТРН-40; *5* — ТРП-150; *6* — ТРП-600; *7* — ТРП-25; *8* — ТРН-10А; *9* — ТРП-60.

При наладке большого количества тепловых реле с одинаковой уставкой рекомендуется пользоваться образцовыми реле, предварительно настраиваемыми описанным выше способом. Тепловые реле нескольких пускателей включают последовательно с образцовыми реле; пускатели со снятыми крышками кожухов оставляют во включенном положении. По цепи нагревателей пропускают ток, близкий $1{,}5I_{ном}$, и изменением уставок реле добиваются срабатывания реле одновременно с образцовыми. Пускатели включают только для удобства определения момента срабатывания реле.

Рис. XVI.13. Схема испытания РТ.

Присоединяя к испытательной схеме новую партию аппаратов, не следует ожидать, пока остынет контрольный пускатель. Достаточно предварительно прогреть все аппараты в течение 10—15 *мин* током, равным $1{,}5\ I_{ном}$, а затем отключить ток на 10 *мин*.

Контакторно-релейная аппаратура

Работы по наладке контакторно-релейной аппаратуры выполняются в следующем объеме: 1) внешний осмотр; 2) проверка изоляции токоведущих частей; 3) измерение сопротивления катушек постоянному току; 4) регулировка механической части; 5) проверка и настройка аппарата под током.

При внешнем осмотре проверяются соответствие аппарата и его катушек проекту, состояние главных и блокировочных контактов и их пружин, гибких соединений и искрогасительных камер, целость опорных призм или подшипников, наличие немагнитной прокладки, крепежных болтов, гаек и т. п. Сопротивление изоляции катушек и контактов целесообразно измерять совместно со схемой управления в целом. (Отключение отдельных аппаратов или их элементов следует проводить только для нахождения участков схемы с пониженной изоляцией.) Измерения выполняются мегомметром на напряжение 500—1000 *в*. Сопротивление изоляции катушек контакторов, согласно ПУЭ, должно быть не ниже 0,5 *Мом*. Учитывая нормы сопротивления изоляции вторичных цепей, практически следует считать допустимой изоляцию не ниже 1 *Мом*.

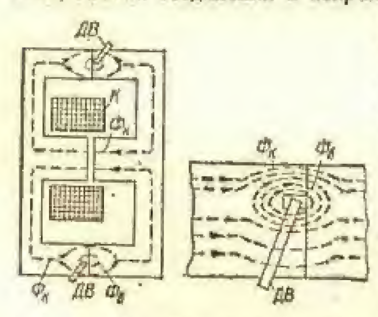


Рис. XVI.14. Схема магнитных потоков в контакторе переменного тока с учетом действия демпферного витка.

Измерение сопротивления катушек постоянному току достаточно выполнять с точностью до 2—3%. Такие измерения могут быть выполнены омметрами, мостом типа ММВ и др.

Контакторно-релейные аппараты проходят регулировку на заводах-изготовителях и, как правило, полностью соответствуют каталожным данным. При пуско-наладочных испытаниях проверка механической части обычно сводится к следующему.

1. Затяжка болтов, крепящих подшипники. Устранение затираний в подшипниках.
2. Проверка свободной самоустановки и плотности прилегания якоря к ярму.
3. Затяжка болтов, крепящих силовые контакты и выводы к ним.
4. Регулировка растворов и провалов главных контактов и одновременности их замыкания.
5. Проверка нажатия контактов и (в случае необходимости) замена контактных пружин.
6. Затяжка болтов и гаек системы блок-контактов.
7. Проверка центровки блок-контактов. Регулировка их зазоров. Проверка и (при необходимости) замена пружин на пальцах блок-контактов.
8. Проверка, нет ли затирания между контактами и дугогасительными камерами.
9. Проверка крепления катушки.
10. Затяжка болтов и гаек на скобах, крепящих магнитопровод на ограничивающей скобе и на стальных деталях.
11. Зачистка рабочих поверхностей главных и блокировочных контактов.

12. Проверка крепления демпферных витков.

При затирании в подшипниках следует отпустить крепящие болты контакторов и, найдя положение, соответствующее свободному ходу вала, затянуть их заново.

Плотное прилегание якоря к ярму дает возможность избежать вибрации (гудения) и связанного с ней повышенного износа аппарата. Вибрация якоря устраняется вследствие того, что в момент, когда синусоидальный магнитный поток $Ф_к$, создаваемый катушкой *К* (рис. XVI.14), проходит через нуль, якорь удерживается смещенным по фазе потоком $Ф_в$ демпферного короткозамкнутого витка ДВ. Ампервитки и м. д. с. короткозамкнутого витка очень малы, поэтому даже при незначительном (десятые доли миллиметра) воздушном зазоре поток витка $Ф_в$ резко падает и становится недостаточным для удержания якоря. Плотность прилегания якоря проверяют щупом толщиной 0,05 *мм*.

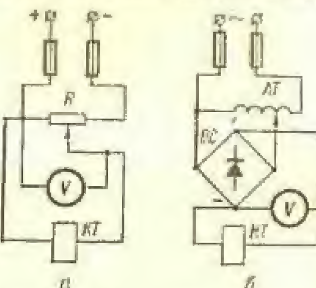


Рис. XVI.15. Схемы проверки напряжения втягивания и отпадания контактора:

а — питание от сети постоянного тока; *б* — питание от сети переменного тока через селеновые выпрямители (*КТ* — контактор; *ВС* — выпрямитель селеновый).

Короткозамкнутые демпферные витки должны быть плотно зажаты в своих пазах.

При регулировке растворов и провалов следует убедиться в одновременном замыкании контактов всех трех фаз и, главное, в наличии достаточного провала. Уменьшенный провал контакта на одной из фаз может привести к обрыву цепи, перегреву и даже сгоранию обмотки двигателя, включенного на две фазы.

При проверке и настройке аппаратов под током проводится измерение напряжений втягивания и отпадания. Контакторно-релейные аппараты, если к ним не предъявляются специальные требования, должны четко включаться при напряжении 85% номинального на зажимах нагретых до максимально допустимой температуры втягивающих катушек. Аппараты испытываются обычно при холодных катушках, поэтому нормируемое значение напряжения втягивания аппаратов постоянного тока должно быть снижено. Так, при температуре окружающей среды + 20° С напряжение втягивания контакторов постоянного тока не должно превышать 68% номинального.

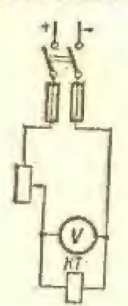


Рис. XVI.16. Испытание контакторов, имеющих катушки большой мощности.

Отклонению температуры окружающей среды от 20° С на каждые ± 10° С соответствует изменение напряжения втягивания на ±2,5—3% $U_н$. Нагрев катушек аппаратов переменного тока почти не влияет на величину напряжения втягивания, так как их активное сопротивление мало по сравнению с индуктивным. Практически напряжение втягивания при испытаниях контакторов переменного тока не должно превышать 80% номинального (с учетом 5% запаса на неточность измерений, колебания питающего напряжения и др.). Напряжение отпадания не нормируется, но его следует измерить, так как оно характеризует состояние

некоторых элементов аппарата (остаточный немагнитный зазор, конечное нажатие пружин, свободный ход якоря).

Напряжение отпадания измеряют также для оценки надежности удерживания контакторов при снижении напряжения в питающей сети.

Аппараты постоянного тока, катушки которых потребляют ток не более 2 *а*, испытываются по схеме, приведенной на рис. XVI.15, *а*. Аппараты постоянного тока, катушки которых потребляют ток порядка 1 *а* и более, удобно испытывать на напряжение втягивания с помощью последовательно включаемого реостата (рис. XVI.16). Если источника постоянного тока нет, аппараты можно испытывать по схеме, приведенной на рис. XVI.15, *б*. Благодаря большой индуктивности катушек выпрямленный ток хорошо сглаживается, и обычно средние напряжения втягивания и отпуска при питании катушек аппаратов выпрямленным напряжением либо практически не отличаются от соответствующих напряжений при питании от сети постоянного тока, либо ниже их на 1—2%.

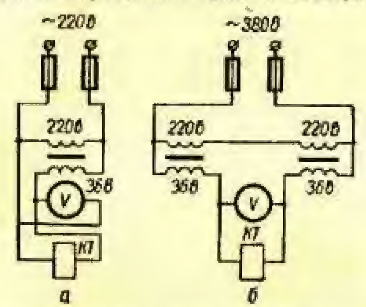


Рис. XVI.17. Схема испытания контактора типа КТ на напряжение втягивания с помощью котельных трансформаторов:

а — напряжение сети 220 *в*; *б* — напряжение сети 380 *в*.

Под током контакторы переменного тока испытывают в первую очередь на гудение и вибрацию. Причиной гудения может быть плохое прилегание якоря к ярму, повышенная жесткость контактных пружин, повреждение короткозамкнутых (демпферных) витков или неправильный их подбор (при ревизии и сборке), несоответствие катушки каталожным данным, нарушение шихтовки магнитопровода.

Если гудение значительное, следует снять отпечаток прилегания якоря. Для этого на поверхность касания ярма кладут бумагу и включают контактор под напряжение. В случае выявления перекосов осуществляют дополнительную механическую регулировку, а при необходимости — притирку полюсов.

Следует иметь в виду, что в процессе включения аппаратов переменного тока индуктивность катушки значительно увеличивается по мере уменьшения воздушного зазора. Общее сопротивление катушки определяется в основном ее индуктивным сопротивлением, поэтому ток катушки в момент включения, когда индуктивное сопротивление мало, может быть в 10—15 раз больше, чем при подтянутом якоре.

Рис. XVI.18. Схема испытания контактора типа КТ.

Проверка контакторов на напряжение втягивания должна осуществляться очень быстро во избежание перегрева катушек и регулировочных устройств током включения.

Массовую проверку контакторов на напряжение втягивания рекомендуется проводить с помощью котельных трансформаторов мощностью 200 *ва*, напряжением 220/36 *в* без регулировочных устройств. Обмотки *ВН* и *НН* включают по схеме понижающего автотрансформатора, как

указано на рис. XVI.17. При таком соединении на катушку контактора поступает приблизительно 83,5% $U_{ном}$.

Первая подача напряжения должна быть кратковременной, 1—2 *сек*, во избежание перегрева катушки (если якорь не втянут). Если необходимо получить более точные данные о напряжении втягивания и отпадания, удобно пользоваться регулировочным автотрансформатором типа ЛАТР-1, включая его по схеме, указанной на рис. XVI.18.

Повышенное напряжение втягивания якоря может быть вызвано следующими причинами: увеличенным против номинального числом витков катушки, завышенным зазором якоря, чрезмерной затяжкой возвращающей пружины (при ее наличии), затиранием контактов в дугогасительных камерах или в осях.

Во время испытания желательно измерить ток, протекающий через катушку при втянутом якоре и номинальном напряжении.

Рис. XVI.19. Схема включения контакторов с защелкивающим механизмом.

На рис. XVI.19 приведена схема управления контакторами с защелкивающим механизмом (*III—V* величины). При отключении на втягивающую катушку *М* подается напряжение одновременно с подачей его на отключающую катушку $М_з$. Втягивающая катушка притягивает якорь контактора, снимая тем самым с защелки усилия, создаваемые якорем во включенном состоянии, и позволяет отключающей катушке легко поднять защелку.

После поднятия защелки цепь втягивающей катушки разрывается, и контактор отключается. В контакторах *IV—V* величин для облегчения коммутации параллельно блок-контактам в цепи втягивающей катушки подключается конденсатор емкостью 1 *мкф*.

При испытании аппаратов под током должна быть также проверена надежность гашения дуги.

Четкость гашения дуги оценивается визуально наблюдением за характером вспышки при размыкании контактов и по состоянию контактных поверхностей. При затяжном гашении дуги, вызывающем оплавление контактных поверхностей, следует проверить достаточность числа витков дугогасительной катушки и направление их намотки. В контакторах постоянного тока правильность присоединения последовательной дугогасительной катушки определяют по следующим правилам: если смотреть на аппарат слева, витки дугогасительной катушки, отходящие от верхнего неподвижного контакта, должны быть направлены по часовой стрелке. При изменении направления тока в дугогасительной катушке магнитный поток также изменяет свое направление, а направление магнитного дутья остается неизменным.

Шунтовые дугогасительные катушки контакторов должны быть подключены таким образом, чтобы направление создаваемого ими потока было согласовано с направлением тока через силовые контакты. Если известно направление намотки шунтовой катушки, то она должна подключаться так, чтобы при направлении тока от нижнего подвижного контакта к верхнему направление тока в дугогасительной катушке (если смотреть слева) было по часовой стрелке. Противоположное, т. е. сверху вниз, протекание тока в главной цепи требует также противоположного, т. е. против часовой стрелки, протекания тока в катушке. Когда направление намотки шунтовой дугогасительной катушки неизвестно, ее подключение проверяют магнитной стрелкой.

Если согласно схеме главных цепей ток должен проходить от нижнего подвижного контакта к верхнему контакту контактора, то дугогасительная катушка должна быть включена таким образом, чтобы поднесенная к ней слева магнитная стрелка притянулась северным полюсом. Если в силовой цепи ток должен проходить сверху вниз, то поднесенная слева к катушке магнитная стрелка должна притянуться южным полюсом.

Рис. XVI.20. Определение собственного времени срабатывания контактора с помощью осциллографа.

В эксплуатации при температуре окружающей среды 30—40° С температура деталей контакторов (кроме демпферного витка), как правило, не превышает 80° С; более высокие температуры, даже если они находятся в пределах нормы (105—110°), указывают на чрезмерную нагрузку частей контактора. Высокая температура, как правило, свидетельствует о неправильной механической регулировке или плохом подборе дугогасительной системы.

В отдельных случаях при наладке приводов, а также при исследовательских работах возникает необходимость в измерении собственного времени срабатывания контакторов и реле. Собственное время может быть измерено электрическим секундомером или осциллографом. На рис. XVI.20 приведена схема определения собственного времени срабатывания контактора с помощью осциллографа.

Собственное время срабатывания контакторов постоянного тока в зависимости от типа контактора может составлять сотые — десятые доли секунды. Собственное время срабатывания контакторов переменного тока не превышает 0,06—0,08 *сек*.

Электромагнитные промежуточные реле испытываются под током так же, как и контакторы. Реле напряжения постоянного тока настраиваются на заданную уставку по схемам, приведенным на рис. XVI.15. При питании выпрямленным напряжением в связи со значительными пульсациями напряжение на катушке следует измерять вольтметром магнитоэлектрической системы.

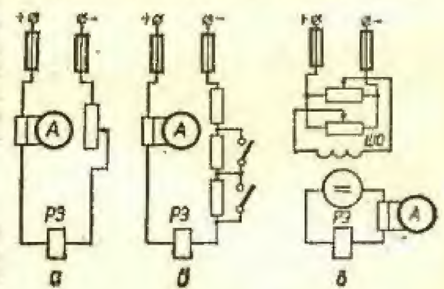


Рис. XVI.21. Схемы настройки токовых реле постоянного тока.

Реле напряжения переменного тока с уставкой на срабатывание применяются редко, включаются обычно через добавочное сопротивление и настраиваются так же, как электромагнитные реле постоянного тока. Чаще применяются реле, контролирующие снижение напряжения. Напряжение отпадания регулируют изменением натяжения пружины. После настройки такие реле должны быть проверены на отсутствие гудения и на надежность включения при напряжении не выше 80% номинального.

Токовые реле постоянного тока в зависимости от величины тока и местных возможностей могут настраиваться разными методами. При токах до 5—8 *а* может быть применена схема, приведенная на рис. XVI.21, *а*; токи до 20—40 *а* могут быть получены кратковременным включением через ящики сопротивления (рис. XVI.21, *б*). Реле на токи порядка сотен ампер удобно испытывать с помощью генератора (временно выделенного), напряжение которого плавно повышается от нулевого значения (рис. XVI.21, *в*). Токовые реле на токи 50—100 *а* и более удобно настраивать по схеме, приведенной на рис. XVI.22. Для настройки токовых реле переменного тока используются нагрузочные или сварочные трансформаторы и жидкостные реостаты.

Настройку максимальных реле переменного и постоянного тока при использовании любого нагрузочного устройства выполняют в следующем порядке. Пружину реле затягивают до тех пор, пока указатель не установится против значения шкалы, соответствующего заданной уставке. Испытательный ток поднимается до величины тока уставки. При подгонке величины испытательного тока схема испытания кратковременно включается и вновь отключается для остывания нагрузочных и регулировочных устройств. Путем смещения упора якорь реле отодвигается на такое расстояние, при котором ток срабатывания становится равным току уставки реле (при этом должен сохраниться достаточный раствор контактов). После окончания настройки реле на шкале против движка делается отметка, указывающая уставку, а положение затягивающей гайки фиксируется шплинтом.

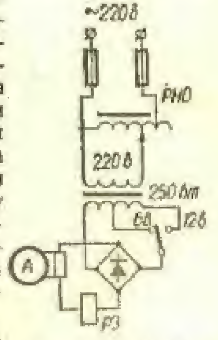


Рис. XVI.22. Настройка токовых реле постоянного тока при питании от сети переменного тока.

Проверка токовых реле по нормальной схеме в пусковом режиме допускается в тех случаях, когда ток велик, а испытательной аппаратуры, соответствующей току, нет. На питающей линии в этом случае должна быть проверенная токовая защита с уставкой выше, чем требуется для испытуемого реле. При испытании защита устанавливается на ток, несколько меньший пускового, чтобы она заведомо сработала при пуске и отключила защищаемую установку. После проверки работы реле уставка несколько повышается, и установка включается снова; при этом не должно происходить срабатывание реле. Если защита осуществляется несколькими токовыми реле, проверка проводится для каждого реле в отдельности.

Напряжение или ток втягивания и отпадания реле регулируют изменением натяжения отключающей (возвращающей) пружины с помощью регулировочной гайки или шайбы; изменением воздушного зазора между якорем и сердечником с помощью регулировочного упорного или контактного винта; изменением толщины немагнитной прокладки; изменением раствора (хода) якоря ввинчиванием или вывинчиванием контактных болтов.

Если требуется высокий коэффициент возврата, регулировку лучше вести при несколько ослабленной пружине путем изменения зазора между якорем и сердечником реле.

При настройке реле напряжения постоянного тока следует учитывать нагрев катушки.

Реле напряжения или тока, предназначенные для регулирования на отпадание, должны иметь достаточно толстую немагнитную прокладку, так как в противном случае из-за ее деформации уставка быстро изменится в эксплуатации. Грубая регулировка напряжения отпадания выполняется подбором немагнитных прокладок, тонкая — изменением натяжения пружины.

В схемах электропривода широкое распространение получили электромагнитные реле времени. В электромагнитных реле времени выдержка на срабатывание и отпускание достигается замедлением нарастания или спада магнитного потока (магнитным демпфированием). Чаще всего для этого применяют исполнение магнитной системы с двумя обмотками: одной рабочей и одной короткозамкнутой. Эта последняя, называемая также демпфирующей, нередко бывает выполнена в виде медной гильзы или медных колец, которые насаживаются на сердечник вместе с рабочей

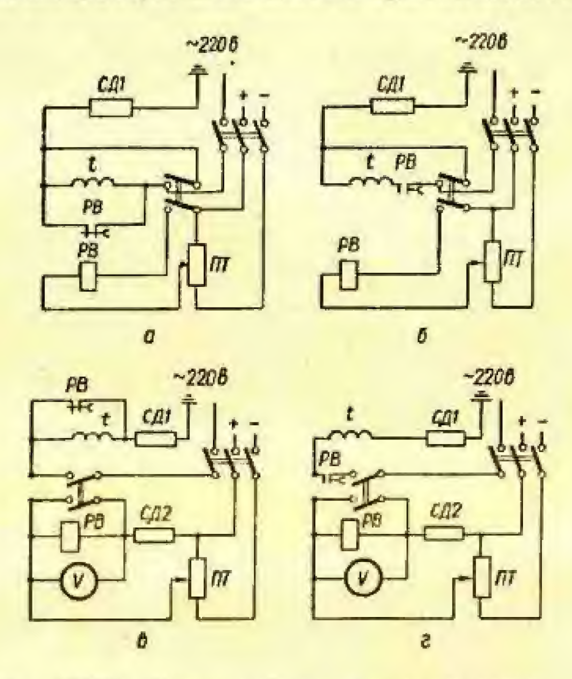


Рис. XVI.23. Схемы определения выдержек времени реле при помощи электрического секундомера: *а* — реле с гильзой и размыкающим контактом; *б* — реле с гильзой и замыкающим контактом; *в* — реле без гильзы с размыкающим контактом; *г* — реле без гильзы с замыкающим контактом; *РВ* — реле времени; *t* — обмотка вибратора электрического секундомера; $СД_1$, $СД_2$ — добавочные сопротивления, установленные внутри секундомера; *ПТ* — потенциометр.

катушкой. Если нет короткозамкнутой катушки, достигается выдержка времени замыканием накоротко рабочей катушки. Путем магнитного демпфирования удается получить при срабатывании реле времени выдержку порядка 0,1—0,5 *сек.* Магнитное демпфирование весьма эффективно для замедления отпускания реле, так как благодаря малому магнитному сопротивлению замкнутого магнитопровода индуктивность катушки значительно выше, чем при срабатывании реле, что определяет большую инерционность системы. Выдержка времени отпускания реле достигает 4—10 *сек.*

Регулирование выдержки времени электромагнитных реле осуществляется изменением величины воздушного зазора между якорем и сердечником (изменением толщины немагнитной прокладки) и изменением натяжения пружины.

Реле времени с магнитным демпфированием обычно выполнены так, что магнитопровод насыщается при напряжении, значительно меньшем номинального (при $0{,}5U_н$). Поэтому возможные колебания напряжения от $0{,}85U_н$ до $1{,}1\,U_н$ не влияют на величину выдержки времени. При настройке реле следует помнить, что с нагревом катушки выдержка времени будет уменьшаться. Поэтому, как правило, следует регулировать реле (при холодной катушке) на выдержку, несколько большую, чем заданная уставка. Проверку уставок порядка нескольких секунд проводят при помощи ручного секундомера. При необходимости можно точно определить выдержку времени по схемам, приведенным на рис. XVI.23.

Уставку реле времени проверяют при номинальном и пониженном напряжении (100 и 85% $U_н$).

Расчет и пересчет катушек аппаратов

Пересчет обмоточных данных катушек (при сохранении их нормального объема) основан на следующих исходных условиях: 1) магнитный поток, создаваемый катушкой, а следовательно, и ее намагничивающая сила, должны оставаться неизменными; 2) тепловые потери в катушке должны оставаться неизменными.

В расчете приняты следующие обозначения:

d — диаметр провода без изоляции, *мм*;
$d_и$ — диаметр провода с изоляцией, *мм*;
w — число витков;
$D_н$ — наружный диаметр катушки, *мм*;
$D_в$ — внутренний диаметр катушки, *мм*;
h — высота катушки, *мм*;
N — длительная мощность катушки, *вт*;
S — площадь окна, *мм*²;
$l_{ср}$ — средняя длина витка, *мм*;
F — намагничивающая сила, *ав*;
$k_з$ — коэффициент заполнения;
$q_п$ — сечение провода, *мм*².

Обмоточные данные катушек аппаратов постоянного и переменного тока на другие значения напряжения пересчитывают по следующим формулам:

$$d_2 = d_1\sqrt{\frac{U_1}{U_2}}; \qquad \text{(XVI.17)}$$

$$w_2 = w_1\,\frac{U_2}{U_1}. \qquad \text{(XVI.18)}$$

Обмоточные данные пересчитывают на другие значения тока по следующим формулам:

$$w_2 = w_1\,\frac{I_1}{I_2}; \qquad \text{(XVI.19)}$$

$$d_{2и} = d_{1и}\sqrt{\frac{I_2}{I_1}}. \qquad \text{(XVI.20)}$$

Пересчет катушек аппаратов постоянного тока на другую продолжительность включения ПВ выполняют по следующим формулам:

$$w_2 = w_1 \frac{d_{1и}^2}{d_{2и}^2}; \qquad \text{(XVI.21)}$$

$$d_2 = d_1 \sqrt[4]{\frac{ПВ_1}{ПВ_2}}. \qquad \text{(XVI.22)}$$

Катушки аппаратов переменного тока на другую продолжительность включения пересчитывают по следующим формулам:

$$w_1 = w_2, \qquad \text{(XVI.23)}$$

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{ПВ_2}{ПВ_1}}. \qquad \text{(XVI.24)}$$

Расчет катушек постоянного тока

Катушки постоянного тока рассчитывают следующим образом. Определяют поверхность катушки $S_в$, находящуюся на воздухе, и поверхность $S_м$, соприкасающуюся с металлом. Для цилиндрических катушек

$$S_в = \pi D_н h + \frac{\pi}{4}(D_н^2 - D_в^2)\ [см^2]; \qquad \text{(XVI.25)}$$

$$S_м = \pi D_в h + \frac{\pi}{4}(D_н^2 - D_в^2)\ [см^2]. \qquad \text{(XVI.26)}$$

Мощность катушки

$$N = k_1 S_в + k_2 S_м\ [вт]. \qquad \text{(XVI.27)}$$

Таблица XVI.10

Коэффициенты K_1 и K_2 для расчета катушек (XVI.27)

Категория катушки	Толщина обмотки, мм	K_1	K_2
I	10—17	0,125	0,075
	17—25	0,115	0,065
	25—35	0,1	0,06
II	10—17	0,135	0,19
	17—25	0,125	0,17
	25—35	0,105	0,145
III	10—17	0,114	0,068
	17—25	0,104	0,059
	25—35	0,091	0,054

Коэффициенты k_1 и k_2, определяющие величину мощности, выделяемой с единицы поверхности, определяются по табл. XVI.10.

Площадь окна

$$S = \frac{D_н - D_в}{2} h\ [мм^2]. \qquad \text{(XVI.28)}$$

Средняя длина витка катушки

$$l_{ср} = \pi \frac{D_н + D_в}{2}\ [мм]. \qquad \text{(XVI.29)}$$

Намагничивающая сила катушки для обмоток, выполненных из круглого медного провода,

$$F = 5\sqrt{N}\sqrt{\frac{S}{l_{ср}}}\ [ав]. \qquad \text{(XVI.30)}$$

Диаметр провода катушки

$$d_н = 0{,}16\sqrt{\frac{l_{ср}F}{U}}. \qquad \text{(XVI.31)}$$

Число витков катушки

$$w = 0{,}64\frac{S}{d_н^2}. \qquad \text{(XVI.32)}$$

Обмоточные данные для последовательно включенных катушек определяются по формулам

$$w = \frac{F}{I}, \qquad \text{(XVI.33)}$$

$$d_н = 0{,}8\sqrt{\frac{S}{w}}. \qquad \text{(XVI.34)}$$

В табл. XVI.10 катушки распределены на три категории: I — катушки свободной посадки на сердечник, компаундированные, намотанные на гильзы из электрокартона или бескаркасные, обмотанные киперной лентой; II — катушки, намотанные плотно на сердечник, компаундированные; III — катушки, намотанные навалом на гильзы из электрокартона, некомпаундированные, пропитанные поверхностно. Толщина катушки

$$a = \frac{D_н - D_в}{2}. \qquad \text{(XVI.35)}$$

Приближенный расчет катушек переменного тока

Рассмотрим приближенный расчет обмоточных данных катушки при максимальном использовании ее объема. При правильном использовании магнитопровода в аппаратах переменного тока (с параллельными катушками) максимальная рабочая индукция находится в пределах $7—11 \cdot 10^{-1}$ *тл*. При такой индукции и частоте 50 *гц* величину э. д. с. определяют как

$$E = (1{,}6 - 2{,}5)\cdot 10^{-2} wQ\ [в], \qquad \text{(XVI.36)}$$

где Q — сечение сердечника, *см²*.

Число витков, приходящихся на каждый вольт приложенного напряжения,

$$w' = \frac{40 \div 60}{Q}. \qquad \text{(XVI.37)}$$

В первом приближении можно принять

$$w' = \frac{50}{Q}. \qquad \text{(XVI.38)}$$

Число витков катушки на напряжение U

$$w = w'U. \qquad \text{(XVI.39)}$$

Площадь окна определяют из выражения (XVI.28).

Сечение и диаметр провода

$$q_п = \frac{Sk_з}{w}; \quad d_п = 1{,}13\sqrt{q_п}, \qquad \text{(XVI.40)}$$

причем принимается $k_з = 0{,}5$.

Выбирается марка провода и ближайший стандартный диаметр. При необходимости по марке и диаметру провода можно уточнить коэффициент заполнения k_3, а затем повторно, более точно подсчитать сечение провода

$$k_з = (0{,}63 \div 0{,}74)\left(\frac{d}{d_н}\right)^2. \qquad \text{(XVI.41)}$$

Электронно-ионные приборы

Электронные лампы

При наладке систем автоматического управления, как правило, электронную аппаратуру по элементам не испытывают и не регулируют, контролируют и настраивают только общие характеристики усилителей или регуляторов. Испытание и снятие характеристик электронных ламп проводится при отыскании повреждений, подборе резервных элементов, проверке заводских технических данных.

Рис. XVI.24. Схема для измерения тока эмиссии электронной лампы.

Перед установкой на рабочее место рекомендуется предварительно опробовать каждую электронную лампу. Такая проверка может быть осуществлена с помощью специальных устройств (универсальный малогабаритный испытатель ламп Л1-3). Если же специальных испытателей ламп нет, собирают отдельные небольшие схемы, приспособленные к определенным видам испытаний. Объем испытаний выбирается в каждом конкретном случае в зависимости от ответственности и режима работы электронной лампы.

В объем простейших испытаний входит следующее.

1. Проверка прочности крепления штырьков и надежность армировки колбы в цоколе.

2. Проверка целости нити накала.

3. Проверка прибора на отсутствие замыканий между электродами.

При более полных испытаниях дополнительно выполняются такие действия.

1. Измерение тока эмиссии катода.

2. Определение основных параметров лампы: коэффициента усиления, крутизны характеристики, внутреннего сопротивления.

В отдельных случаях, кроме того, проверяют вакуум, снимают статические и динамические характеристики.

Прочность крепления штырьков и армировку колбы проверяют при внешнем осмотре. Целость нити накала проверяют прозвонкой.

Проверку на отсутствие замыканий между электродами выполняют прозвонкой каждого штырька лампы во всех возможных сочетаниях с другими штырьками.

Ток эмиссии можно измерить по схеме, приведенной на рис. XVI.24. Большинство ламп испытывают при анодном напряжении 20 *в*. Для контроля желательно измерить ток эмиссии эталонной лампы.

Ток эмиссии превышает в несколько раз номинальный ток анода лампы. Поэтому при измерении полного тока эмиссии напряжение питания подается кратковременно для предотвращения лишнего нагрева лампы и катода. Длительное прохождение полного тока эмиссии может вызвать повреждение электродов, а нагрев катода приводит к новому росту тока эмиссии.

При контрольных расчетах и настройке режимов электронных регуляторов иногда необходимы рабочие характеристики используемых экземпляров электронных ламп. Обычно достаточно снять так называемые статические характеристики, когда в анодной цепи нет сопротивления нагрузки.

Различают четыре вида статических характеристик: анодные, анодно-сеточные, сеточно-анодные и сеточные. Обычно их снимают при номинальном напряжении накала с помощью испытательной схемы, приведенной на рис. XVI.25.

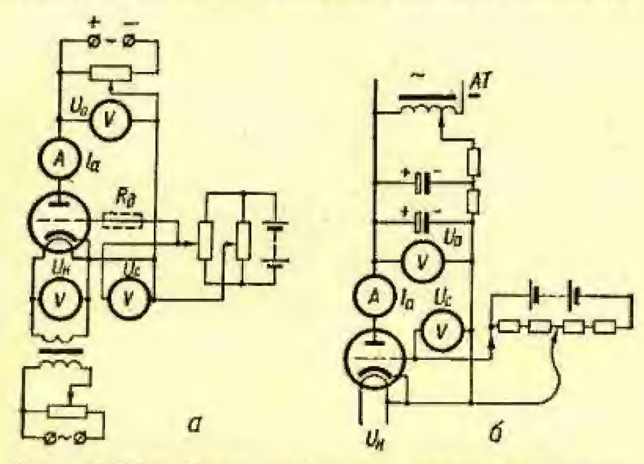


Рис. XVI.25. Схема для снятия статических характеристик электронной лампы с питанием анодных цепей от источника:

а — постоянного тока; *б* — переменного тока.

1. Анодные характеристики представляют собой зависимость анодного тока I_a от анодного напряжения U_a при неизменном напряжении на других электродах.

В условиях наладки для снятия характеристик $I_a = f(U_a)$ при $U_c = \text{const}$ можно использовать упрощенную схему (рис. XVI.25,*б*) с источником напряжения переменного тока и фильтром *RC*. Отрицательное напряжение на управляющей сетке вызывает смещение характеристик вправо и уменьшение их крутизны (рис. XVI.26). Для подачи напряжений на сетку удобно применять сухие элементы и ступенчатый высокоомный потенциометр.

По анодным характеристикам легко найти основные параметры лампы. Например, для рабочей точки *A* коэффициент усиления

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \frac{aA}{U_{c_1} - U_{c_2}}. \qquad \text{(XVI.42)}$$

Крутизна характеристики

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} = \frac{bA}{U_{c_2} - U_{c_1}}\ [ма/в]. \qquad \text{(XVI.43)}$$

Внутреннее сопротивление R_i определяется как котангенс угла наклона касательной в точке A

$$R_i = \operatorname{ctg}\alpha = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{nA}{mn}\ [ком]. \qquad (XVI.44)$$

Сопротивление постоянному току

$$R_п = \frac{U_a}{I_a}\ [ком]. \qquad (XVI.45)$$

Анодные характеристики ламп с экранирующими и антидинатронными сетками (рис. XVI.27) по форме сильно отличаются от рис. XVI.26. Благодаря действию экранирующей сетки анодный ток достигает почти установившегося значения при напряжении не менее 20% номинального. При снятии ха-

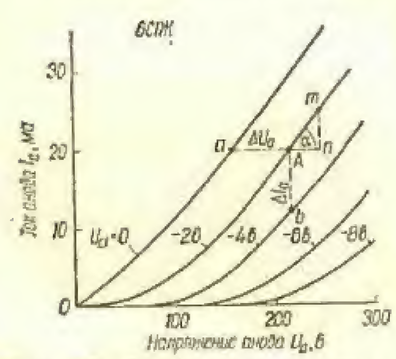


Рис. XVI.26. Анодные характеристики триода.

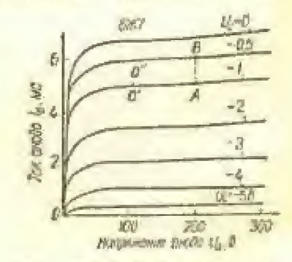


Рис. XVI.27. Анодные характеристики пентода.

рактеристик напряжение на экранирующую сетку может быть подано с помощью потенциометра, включенного на анодное напряжение или от отдельного источника питания. Во время испытаний необходимо учитывать, какой ток уходит через сетки и как присоединение вольтметров влияет на работу лампы. Основные параметры пентода определяются так же, как и параметры триода.

Во время снятия характеристик ламп косвенным методом может быть проверен их вакуум. При ухудшенном вакууме в лампе возникает повышенная ионизация газа, и положительные ионы, притягиваемые отрицательно заряженной сеткой, создают заметный сеточный ток во внешней цепи. Контроль вакуума может быть осуществлен введением сопротивления в цепь управляющей сетки (сопротивление $R_д$ на рис. XVI.25, *а*). При хорошем вакууме введение сопротивления $R_д$ = = 100 *ком* вызовет снижение анодного тока не более чем на 2—10%. В случае ухудшения вакуума на сопротивлении $R_д$ от ионного тока создается падение напряжения, потенциал сетки изменяется, и анодный ток резко возрастает.

2. Анодно-сеточные характеристики представляют собой зависимость анодного тока от напряжения первой управляющей сетки $I_a = f(U_{c_1})$ при неизменных напряжениях других электродов (рис. XVI.28).

Аналогично можно построить характеристики $I_a = f(U_{c_2})$ и $I_a = f(U_{c_3})$, дающие зависимость величины анодного тока от напряжения второй или третьей сеток. По анодносеточным характеристикам рассчитывают основные параметры лампы.

Поясняющие построения приведены на рис. XVI.28. Пусть рабочий режим характеризуется точкой A. Симметрично точке A строится треугольник mnk с вершиной прямого угла на ближайшей характеристике. Тогда

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \frac{U_{a_1} - U_{a_2}}{\Delta U_c};$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

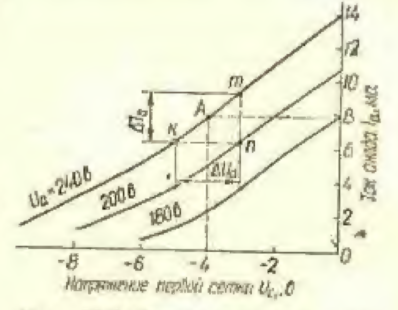


Рис. XVI.28. Определение основных параметров электронной лампы по анодно-сеточным характеристикам.

3. Сеточно-анодные характеристики представляют собой зависимость тока данной сетки от величины анодного напряжения $I_c = f(U_a)$ при неизменных напряжениях других электродов.

4. Сеточные характеристики дают зависимость тока данной сетки от напряжения этой же или другой сетки $I_c = f(U_c)$ при неизменных напряжениях других электродов.

При наладке элементов электронных аппаратов в схемах автоматического управления обычно достаточно снять анодные характеристики и оценить, насколько испытуемые экземпляры ламп близки к типовым. По анодным характеристикам легко построить анодно-сеточные характеристики для первой сетки. Снятие остальных характеристик относится к области исследовательских работ.

При наладке различных узлов автоматического управления нередко требуются динамические характеристики, предусматривающие нагрузку в анодной цепи лампы. Для снятия динамических характеристик собирается схема, приблизительно соответствующая использованию лампы в схеме аппарата (рис. XVI.29). Нагрузка $R_н$ может быть чисто активной или индуктивной, а также иметь переменные параметры.

Рис. XVI.29. Схема для снятия динамических характеристик электронных ламп.

Испытание и снятие характеристик электронных аппаратов требуют соблюдения условий, необязательных при работе с контакторно-релейной аппаратурой. В первую очередь необходимо высокое сопротивление изоляции (не менее 10—50 *Мом*) всех элементов испытательной схемы по отношению к земле и между собой. Во избежание наводок со стороны внешних магнитных и электрических полей соединительные провода следует прокладывать бифилярно (прямой и обратный провод совместно), а в отдельных случаях — с применением экранирующих оплеток.

На результаты измерений могут влиять емкости и неуловимые утечки между элементами испытательной схемы. Исключение таких помех трудно предусмотреть, не имея опыта в данной области. Поэтому

рекомендуется перед записью показаний провести пробные замеры с разными измерительными приборами и регулировочными устройствами при различном расположении приборов и источниками питания постоянного и выпрямленного переменного токов. В каждом конкретном случае необходимо правильно подбирать измерительные приборы, с тем чтобы их потребление не вносило заметных погрешностей.

Измерения в цепях электронных устройств без разборки схемы

При наладке различных устройств автоматического управления с электронными лампами бывает желательно выполнять измерения величин сопротивлений, емкостей, напряжений, а иногда и токов без разборки схемы. В этих случаях следует руководствоваться следующими рекомендациями.

1. При работе с электронными устройствами измерительные приборы располагают на столе, покрытом гладким чистым изоляционным материалом (эбонит, гетинакс, стекло). Соединительные провода должны иметь хорошую изоляцию.

2. Сопротивления и емкости следует измерять при вынутых электронных лампах. При измерениях емкостей конденсаторов необходимо следить за тем, чтобы используемые источники питания не имели общих цепей со схемой испытуемого устройства.

3. Поскольку подключение измерительного прибора может исказить работу электронной схемы, на выходе испытуемого устройства в процессе испытаний должен быть включен вольтметр или амперметр, по показаниям которых контролируется отсутствие помех при подключении измерительного прибора. Среднее выпрямленное напряжение измеряется магнитоэлектрическими приборами. Относительно большие напряжения (десятки вольт) бывает удобно измерять электростатическим вольтметром.

Внутреннее сопротивление вольтметра (или микроамперметра с добавочным сопротивлением) должно превышать сопротивление контролируемой цепи в несколько раз. Поэтому для замеров напряжений постоянного тока на сопротивлениях в цепях катода и анода, а также анодного напряжения лампы и напряжения на делителе к экранирующей сетке следует использовать вольтметры с сопротивлением не менее 5—10 *ком/в* (АВО-5М1, Ц-20, Ц-55, Ц-57, Ц-437 и т. п.).

Измерение напряжений на экранирующей сетке с большим гасящим сопротивлением и особенно на управляющей сетке, как правило, нельзя выполнить прямым путем с помощью вольтметра. Иногда достаточно врезать в схему микроамперметр и, замерив ток сетки, рассчитать сеточное напряжение по падению его на добавочном сопротивлении. Если ток сетки равен нулю, то потенциал на сетке рассчитывается по участкам схемы, определяющим сеточное смещение.

Напряжения переменного тока в электронных схемах обычно измеряются детекторными приборами. Напряжения источников очень малой мощности и напряжения, имеющие величину менее 1 *в*, удобно измерять электронным вольтметром. Для измерения напряжений переменного тока, а также напряжений сложной формы целесообразно использовать электронный осциллограф, с помощью которого одновременно просматривается и форма кривой напряжения.

4. Величины токов могут измеряться обычными методами путем включения в контролируемую цепь миллиамперметров, однако распаивание схемы без крайней необходимости нежелательно и, кроме того,

сопротивление прибора может отразиться на работе схемы. Удобнее определить токи без разборки схемы по падению напряжения на сопротивлениях, измеряемому с помощью высокоомных вольтметров.

Ионные приборы

Газотроны. Дополнительно к п. 1—3 программы испытаний электронных ламп при наладке снимаются вольтамперные характеристики $I_a = f(U_a)$ газотрона. Для снятия характеристики может быть использован любой регулируемый источник постоянного тока. Напряжение накала не влияет на форму вольт-амперной характеристики, но должно выдерживаться номинальным во избежание повреждения прибора. Следует иметь в виду, что анодное напряжение может быть подано только после включения цепи накала и прогрева лампы в течение нескольких минут. Вольт-амперная характеристика газотрона приведена на рис. XVI.30.



Рис. XVI.30. Вольтамперная характеристика газотрона.

Тиратроны. Дополнительно к описанному при испытаниях тиратронов снимаются пусковые характеристики $U_a = f(U_c)$. Схема испытания и пусковые характеристики приведены на рис. XVI.31. Форма пусковой характеристики существенно зависит от напряжения накала

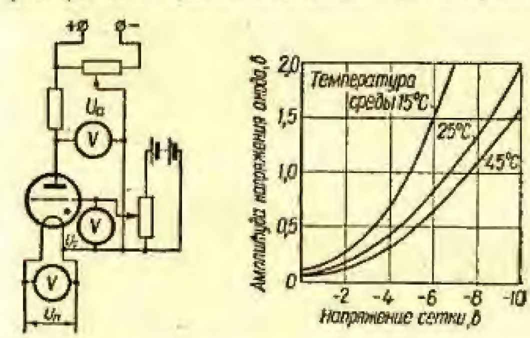


Рис. XVI.31. Схема испытания и пусковые характеристики тиратрона.

и температуры окружающей среды; оба эти фактора оказывают влияние на давление газа или ртутного пара в баллоне. Тиратроны и иные приборы, наполненные парами ртути, перед первой подачей анодного напряжения следует прогревать током накала, а в холодных помещениях еще и анодным током при низком анодном напряжении, чтобы капельки ртути, которые могут находиться на аноде, сетках и на корпусе прибора, испарились. При высоких и обратных напряжениях капельки ртути иногда приводят к обратному зажиганию, вызывающему разрушение электродов.

Стабилитроны. Использование их основано на том, что незначительное увеличение напряжения на электродах сверх порогового

приводит к резкому возрастанию тока. Стабилитрон проверяется на прочность выводов и изоляции между элементами (последняя испытывается путем прозванивания при напряжении ниже порогового).

Характеристика стабилитрона снимается по схеме, приведенной на рис. XVI.32. Применяемые для снятия характеристик вольтметры (V_2) должны иметь возможно большее внутреннее сопротивление, а миллиамперметр — минимальное сопротивление. Во время наладки предварительно определяются напряжение зажигания стабилитрона $U_2 = U_{ст.о}$ и соответствующий минимальный ток $I_1 = I_{ст.о}$. Затем напряжение U_2 повышается до значения $U_{ст.м}$, при котором ток достигает максимально допустимой (указанной в паспорте прибора) величины $I_{ст.м}$.

Отношение разности предельных значений напряжений к разности предельных значений токов определяет динамическое сопротивление стабилитрона

$$R_{дин} = \frac{U_{ст.м} - U_{ст.о}}{I_{ст.м} - I_{ст.о}}. \qquad (XVI.46)$$

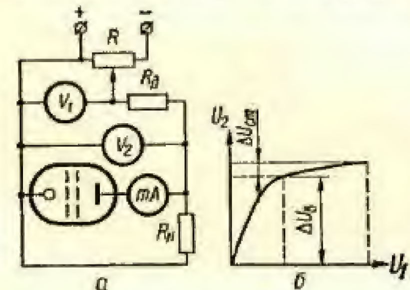


Рис. XVI.32. Схема испытания (*а*) и примерная характеристика (*б*) стабилитрона.

Стабилизация напряжения будет тем жестче, чем меньший ток будет ответвляться в цепь сопротивления нагрузки $R_н$. Принято выбирать $I_н \leqslant (0{,}1 \div 0{,}2)\, I_{ст.м}$. Зная пределы изменения напряжения на стабилитроне $U_{ст.м} - U_{ст.о}$, во время испытаний легко подобрать такое добавочное сопротивление $R_д$, при котором соответствующее изменение напряжения на входе $\Delta U_в$ будет находиться в пределах максимально возможных колебаний напряжения в питающей сети.

Бареттеры. Действие бареттера основано на изменении сопротивления и теплоотдачи в газе вольфрамовой (или стальной) спирали при нагреве. Бареттер проверяют на прочность выводов и целость цепи спирали. Характеристику бареттера снимают по схеме, приведенной на рис. XVI.33.

Предварительно непосредственно на бареттере определяют минимальное напряжение $U_{б.о}$, при котором начинается стабилизация тока. Затем напряжение $U_б$ повышается до величины $U_{б.м}$, соответствующей максимально допустимому (по паспортным данным) току $I_{б.м}$. Коэффициент бареттерования δ есть отношение разности рабочих значений напряжения на бареттере к среднему значению

$$\delta = \frac{U_{б.м} - U_{б.о}}{U_{б.ср}}, \qquad (XVI.47)$$

где

$$U_{б.ср} = \frac{U_{б.м} + U_{б.о}}{2}.$$

Если задано сопротивление нагрузки, то с помощью испытательной схемы можно найти пределы изменения напряжения на входе $U_{в.м}$ —

$U_{в.о}$, соответствующие рабочему диапазону напряжений на бареттере $U_{б.м} - U_{б.о}$. Аналогично при заданных колебаниях напряжения сети ΔU может быть подобрано максимально возможное сопротивление нагрузки.

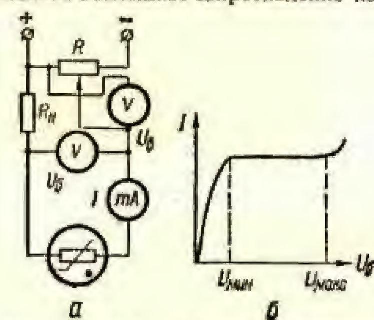


Рис. XVI.33. Схема испытания (*а*) и примерная характеристика (*б*) бареттера.

Тиратроны с холодным катодом. Из числа тиратронов с холодным катодом большое распространение получил триод типа МТХ-90. Перед установкой в аппаратуру лампу подвергают внешнему осмотру и отбраковке.

При внешнем осмотре проверяется симметричность расположения электродов. Желательно, чтобы катод, анод и сетка находились в одной плоскости, если же есть смещение, то не более 0,25 *мм*. У ламп МТХ-90 налет в виде светлых крупинок на катоде около вывода указывает на трещину в баллоне или плохую заделку выводов в стенке баллона.

Далее лампу проверяют по напряжению зажигания сетка — катод. Для тиратронов МТХ-90 это напряжение должно находиться в пределах 65—83 *в*. Проверка осуществляется по схеме, приведенной на рис. XVI.34, *а*. При достижении указанного напряжения в лампе должно возникнуть свечение, свидетельствующее о ее исправности. Величина тока зажигания проверяется по схеме, приведенной на рис. XVI.34, *б*.

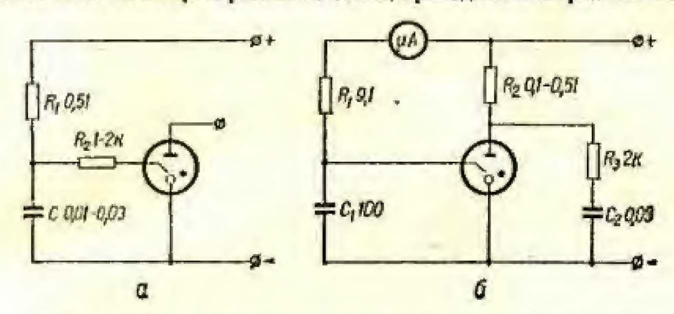


Рис. XVI.34. Схемы для проверки параметров тиратрона МТХ-90:

а — определение напряжения зажигания сетка — катод; *б* — определение тока зажигания.

Лампы МТХ-90 с током более 10 *мка* при величине анодного напряжения 145 *в* пригодны к работе. При проверке лампы МТХ-90 следует обращать внимание на ее свечение. У исправной лампы свечение оранжево-красного цвета, желтый цвет свечения свидетельствует о примесях в газе-наполнителе, голубое свечение — о присутствии воздуха. Лампы с голубым и желтым свечением бракуются.

Полупроводниковые приборы

Общие сведения

Одним из отличительных качеств полупроводниковых материалов, из которых изготовляются переходы диодов и транзисторов, является сильная чувствительность их к изменению температуры. Поэтому параметры диодов и транзисторов значительно меняются с изменением температуры.

Надежность работы полупроводниковых приборов зависит от правильного выбора рабочих напряжений, токов и мощностей, которые должны быть существенно ниже предельных величин. Надежность диодов и транзисторов возрастает в десятки раз при уменьшении рабочего напряжения до 70% предельного. Рекомендуется ограничивать рабочие токи через полупроводниковые приборы (в том числе импульсные) величиной, не превышающей 70% предельной.

Нельзя располагать полупроводниковые приборы вблизи элементов схемы, в которых при работе выделяется значительное тепло. Помещение, в котором находятся полупроводниковые приборы, должно отапливаться, относительная влажность не должна превышать 50—65%. Температура воздуха должна быть не ниже +5 и не выше +40° С.

Основные технические требования к диодам и транзисторам для устройств широкого применения определены ГОСТом 11630-65, к силовым вентилям — ГОСТом 10662-63. Методы измерений основных параметров диодов содержатся в ГОСТах 10961—64; 10962-64; 10963-64; 10964-64; 10965-64. Методы измерения основных параметров транзисторов — в ГОСТах 10864-64; 10867-64; 10866-64; 10865-64; 10868-64; 10869-64; 10871-64; 11071-64; 11072-64; 11541-65; 11156-65; 10870-64.

Диоды

В общем случае расширенная программа наладки полупроводниковых вентилей включает следующие работы.

1. Проверка соответствия выпрямителя проекту.
2. Проверка схемы включения вентилей, монтажа и надежности контактных соединений.
3. Испытания вентилей на пробой запирающего слоя.
4. Снятие характеристик прямого и обратного тока.
5. Определение зависимости сопротивлений в прямом и обратном направлениях от температуры окружающей среды.
6. Контрольная нагрузка.
7. Подбор вентилей в группы.

В зависимости от назначения выпрямителя в схеме управления испытание проводится по сокращенной (определяемой наладчиком) или полной программе.

При проведении наладочных работ следует учитывать, что германиевые и некоторые другие полупроводниковые элементы весьма чувствительны к перегреванию выводов, поэтому при пайке рекомендуется зажимать вывод со стороны диода плоскогубцами и применять припой с низкой температурой плавления (например, ПОС-40). Для пайки следует пользоваться маломощным паяльником с длинным тонким стержнем, подносить его к концу вывода на время, не превышающее 2—3 *сек*. Как правило, пайка выводов должна производиться на расстоянии 10 *мм* от корпуса. Изгибать выводы следует на расстоянии не менее 10 *мм* от корпуса прибора.

Для селеновых и меднозакисных (купроксных) выпрямителей следует проверить соответствие размеров элементов и их количества в столбе действующим значениям тока и напряжения, правильность и надежность сборки элементов в столбе. Мегомметром на напряжение 500 *в* измеряется сопротивление изоляции между элементами и стальным стержнем.

Селеновые вентили перед включением на рабочее напряжение должны быть подвергнуты формовке (см. ниже).

Вентили, испытываемые по сокращенной программе (без специальной отбраковки путем контрольной нагрузки), необходимо контролировать на пробой запирающего слоя. Для этого вентиль последовательно

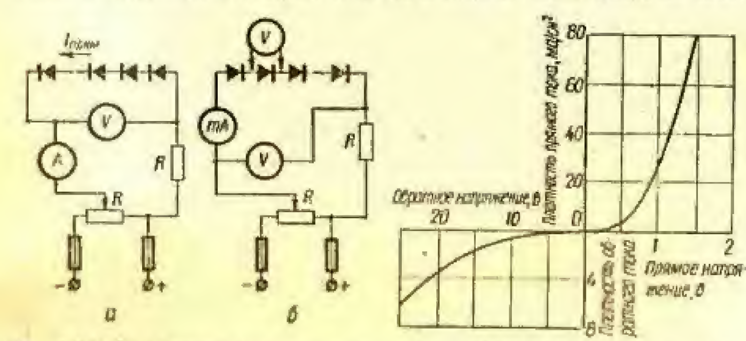


Рис. XVI.35. Схемы измерения сопротивления вентиля с помощью вольтметра и амперметра при прямом токе (*а*) и обратном (*б*).

Рис. XVI.36. Вольтамперная характеристика селенового выпрямителя.

с миллиамперметром и добавочным сопротивлением, предохраняющим измерительный прибор, включается на наибольшее нормируемое обратное напряжение. Обратный ток должен устанавливаться у маломощных диодов за время до 20 *сек*, у силовых — до 1—2 *мин* и оставаться в пределах нормируемой величины.

Для купроксных и селеновых столбов, прошедших формовку, рекомендуются испытания при обратном напряжении $U_{обр} = 1{,}3U_н$. Кроме того, следует проверить распределение напряжения по элементам; напряжения на отдельных элементах не должны отличаться от средней величины более чем на 15—20%.

При более значительных отклонениях вентиль должен быть дополнительно отформован.

Сопротивления вентилей в прямом и обратном направлениях зависят от величины проходящего тока и, поэтому в тех случаях, когда величина сопротивления выпрямителя влияет на работу схемы, следует снимать вольтамперные характеристики вентилей (для селеновых выпрямителей после формовки). Для этого собирают схему, приведенную на рис. XVI.35. При прямом включении (рис. XVI.35, *а*) ток поднимается до номинальной величины, при обратном включении (рис. XVI.35, *б*) напряжение поднимается до величины допустимого обратного напряжения. Вольтамперная характеристика селенового выпрямителя приведена на рис. XVI.36.

Вольтамперная характеристика германиевого диода приведена на рис. XVI.37. Кривая *1* соответствует характеристике при повышении

температуры, кривая 3 — при понижении. При повышении температуры прямой и обратный токи увеличиваются. Если через диод протекает постоянный прямой ток $I_{пр}$, то при изменении температуры падение напряжения на диоде изменяется приблизительно на 2 *мв* на каждый градус Цельсия. Дифференциальное сопротивление диода (отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока) при температуре +20° С с достаточной степенью точности может быть определено по выражению

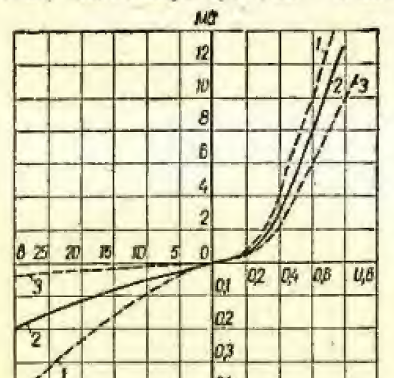


Рис. XVI.37. Вольтамперная характеристика германиевого диода.

$$R_д = \frac{26}{I_{пр}} \ [ом], \qquad (XVI.48)$$

где $I_{пр}$ — постоянный прямой ток, *ма*.

Дифференциальное сопротивление диода при обратных напряжениях очень велико и находится в пределах от нескольких десятков килоомов до сотен мегоомов. Величина обратного тока при увеличении температуры на каждые 10° С увеличивается в 2 раза у германиевых и в 2,5 раза у кремниевых диодов. Полупроводниковые вентили в некоторых схемах играют роль переменных сопротивлений. Такие вентили для дополнительного контроля помещают в термостат и снимают их вольтамперные характеристики при средней температуре +20° С и предельных значениях температуры окружающей среды. Во время проведения испытаний к выводам диода следует подключать проводники такого же типа, как в рабочей схеме; длина выводов внутри термостата должна быть не менее 100—150 *мм*.

В зависимости от назначения и ответственности устройства перед введением в эксплуатацию проводится контрольная нагрузка вентилей. Во время контрольной нагрузки рекомендуется подвергать вентили действию прямого тока и обратных токов и напряжений. Во время нагрузки рекомендуется поддерживать напряжение на уровне (0,5 ÷ ÷0,9) $U_{обр}$, а ток (0,8—0,9) $I_н$; при подборе этих напряжений и токов должны учитываться соотношения между средними, выпрямленными и синусоидальными значениями. В зависимости от назначения вентиля и возможности проведения испытаний контрольная нагрузка продолжается от 2 *ч* до 5 суток. Показателями качественного состояния вентиля являются малая и стабильная величина обратного тока и стабильная величина падения напряжения при прямом токе.

В некоторых случаях нужно подобрать и сгруппировать вентили с одинаковыми внутренними сопротивлениями прямому и обратному току. Рекомендуется проводить такой подбор после нагрузки вентилей рабочим током в течение около трех суток.

При последовательном включении германиевых или кремниевых диодов для уравнения падений обратных напряжений параллельно диодам включаются сопротивления. Величина сопротивлений подбирается с таким расчетом, чтобы ток, проходящий через него, в три и более раза превышал обратный ток диода. При параллельном включении вентилей для уравнивания токов параллельных ветвей последовательно с вентилями включают добавочные сопротивления. Падения напряжения на добавочных сопротивлениях (при прямом токе) должны превышать падения напряжений на диодах не менее чем в три раза.

Формовка селеновых выпрямителей. На заводах-изготовителях селеновые вентили проходят специальный тренировочный режим под нагрузкой — так называемую формовку. После длительного хранения вентилей необходимо провести повторную формовку, так как у отключенных селеновых вентилей постепенно создаются повышенное сопротивление прямому току и повышенный обратный ток, так что при включении на рабочее напряжение может произойти пробой запорного слоя.

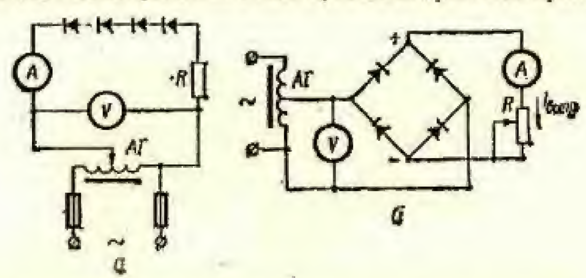


Рис. XVI.38. Схемы формовки селеновых вентилей при питании от источника переменного тока:

а — для вентильного столбика; *б* — для однофазного моста.

Формовку можно провести как на переменном, так и на постоянном токе, но более удобна и эффективна — на переменном. При этом используются схемы, приведенные на рис. XVI.38. Сопротивление нагрузки подбирается таким образом, чтобы при номинальном переменном напряжении испытуемого выпрямителя через нагрузочное сопротивление протекал номинальный ток выпрямителя.

Номинальное напряжение выпрямителя определяется количеством последовательно включенных шайб в плече выпрямления и допустимым обратным напряжением шайбы. Номинальный выпрямленный ток выпрямителя определяется количеством параллельных ветвей в плече выпрямления и номинальным током шайбы.

Число параллельных ветвей

$$m = \frac{I_н}{I_д}, \qquad (XVI.49)$$

где $I_н$ — ток нагрузки выпрямителя; $I_д$ — номинальный ток одной шайбы (в однофазной мостовой схеме номинальный выпрямленный ток в два раза, а в трехфазной мостовой — в три раза превышает номинальный ток шайбы).

Число последовательно включенных вентилей в одном плече мостовой схемы:

для однофазной схемы

$$n = 1{,}57 \frac{U_н + U_{тр} + U_ф}{U_{обр} - 3{,}14 U_a}; \qquad (XVI.50)$$

для трехфазной схемы

$$n = 1{,}05\,\frac{U_н + U_{тр} + U_ф}{U_{обр} - 2{,}1U_в}, \qquad \text{(XVI.50а)}$$

где $U_н$ — выпрямленное напряжение на нагрузке; $U_{тр}$ и $U_ф$ — падение напряжения соответственно в трансформаторе и фильтре (принимается $\sim 0{,}1\,U_н$); $U_{обр}$ — допустимое обратное напряжение на одну шайбу; $U_в$ — падение напряжения в прямом направлении).

На выпрямителе в течение 10—15 *мин* напряжение поднимается от нуля до номинального. Во время подъема напряжения в вентиле иногда слышатся разряды, которые возникают в результате пробоя и распыления запорного слоя в отдельных точках. В местах разряда, если он не является тепловым пробоем, расплавляющим металл, образуется пустотный слой. Если слышатся частые разряды, следует прекратить повышение напряжения или снизить его. При полном напряжении и нагрузке, близкой к номинальной, вентили следует выдержать в течение 2—3 *ч* при температуре, не превышающей 75° С.

Таблица XVI.11

Основные характеристики полупроводниковых выпрямителей

Показатель	Материал выпрямителя			
	Селен на железном диске	Закись меди	Германий	Кремний
Допускаемая температура нагрева, °С	70—75	45—50	60—80	125
Плотность тока, *а/см²*, при температуре +20° С и естественном охлаждении	0,02—0,05	0,03—0,05	20—40	60—80
Допустимое обратное напряжение на элемент выпрямителя, *в*	20—45	8—10	70—280	70—425
Пробивное напряжение, *в*	50—80	20—300	100—400	100—600

Для измерения внутреннего сопротивления вентили периодически отключаются от нагрузочной схемы и со стороны выхода включаются на постоянное напряжение обратного знака. Формовку можно считать законченной, когда внутреннее сопротивление выпрямителя остается неизменным и ток обратной проводимости при полном напряжении не превышает нормируемых значений (ориентировочно величина обратного тока не должна превышать 5% номинального). Выпрямленные токи и напряжения следует измерять магнитоэлектрическими приборами.

Основные характеристики полупроводниковых выпрямителей приведены в табл. XVI.11, XVI.12.

Допустимые обратные напряжения селеновых выпрямителей для различных классов элемента таковы:

Класс	В	Г	Д	Е	И	К
Допустимое обратное напряжение, *в*	20	25	30	35	40	45

Таблица XVI.12

Характеристики селеновых выпрямителей серий АВС и ТВС

Размеры, *мм*	Активная площадь, *см²*	Номинальный нагрузочный ток, *а*	Плотность тока, *ма/см²*
Диаметр круглой пластины:			
5	0,07	0,0012	17
7,2	0,28	0,006	21
12,5	1,06	0,025	23,6
18	1,2	0,04	33
25	3,4	0,08	23,5
Стороны прямоугольной пластины:			
12×12	1,0	0,04	40
15×15	1,2	0,04	33
12×24	2,2	0,06	27
12×36	3,4	0,08	23,4
22×22	3,4	0,08	—
30×30	7,2	0,15	21
40×40	12,4	0,3	24
60×60	27,9	0,6	21
75×75	46,9	1,2	25
100×100	86,8	2,0	23
100×200	175,4	4,0	23
100×300	266	6,0	22,5
100×400	360	8,0	22

Примечание. Номинальный ток дан для работы элемента в среде, температура которой для серии АВС не выше 55° С, а для серии ТВС—60° С.

В табл. XVI.13 приведены соотношения между значениями выпрямленных и переменных напряжений и токов для различных схем выпрямления. Основные параметры некоторых типов выпрямительных диодов приведены в табл. XVI.14.

Транзисторы

Расширенная программа наладки отдельно взятых транзисторов предусматривает следующие работы.

1. Проверка соответствия транзистора проекту.
2. Проверка правильности схемы включения и монтажа.
3. Измерение токов проводимости и определение коэффициента усиления.
4. Снятие рабочих характеристик.
5. Определение зависимости рабочих характеристик от температуры.
6. Контрольная нагрузка и отбраковка.

Таблица XVI.13

Основные соотношения для схем выпрямления

Схема соединения	Выпрямленное напряжение U_d	Вторичное напряжение трансформатора U_2	Амплитудное значение обратного напряжения $U_{в\ макс}$	Выпрямленный ток I_d	Ток вторичной обмотки трансформатора I_2	Ток первичной обмотки трансформатора I_1	Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора P_1	Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора P_2	Типовая мощность трансформатора $P_т$
Однополупериодное однотактное выпрямление	$0{,}45\,U_2$	$2{,}22\,U_d$	$3{,}14\,U_d$	$0{,}638\,I_2$	$1{,}57\,I_d$	$\frac{1{,}21}{k}\,I_d$	$2{,}69\,P_d$	$3{,}49\,P_d$	$3{,}09\,P_d$
Двухполупериодное однотактное выпрямление	$0{,}9\,U_2$	$1{,}11\,U_d$	$3{,}14\,U_d$	$1{,}27\,I_2$	$0{,}79\,I_d$	$\frac{1{,}11}{k}\,I_d$	$1{,}23\,P_d$	$1{,}74\,P_d$	$1{,}48\,P_d$
Двухполупериодное двухтактное выпрямление	$0{,}9\,U_2$	$1{,}11\,U_d$	$1{,}57\,U_d$	$1{,}11\,I_2$	$0{,}9\,I_d$	$\frac{1{,}11}{k}\,I_d$	$1{,}23\,P_d$	$1{,}23\,P_d$	$1{,}23\,P_d$
Трехфазная однотактная схема с нулевым выводом при соединении вторичной обмотки в звезду	$1{,}17\,U_2$	$0{,}855\,U_d$	$2{,}09\,U_d$	$1{,}73\,I_2$	$0{,}58\,I_d$	$\frac{0{,}47}{k}\,I_d$	$1{,}21\,P_d$	$1{,}48\,P_d$	$1{,}34\,P_d$
Трехфазная однотактная схема с нулевым выводом при соединении вторичной обмотки в зигзаг	$1{,}17\,U_2$	$0{,}855\,U_d$	$2{,}09\,U_d$	$1{,}73\,I_2$	$0{,}58\,I_d$	$\frac{0{,}47}{k}\,I_d$	$1{,}21\,P_d$	$1{,}71\,P_d$	$1{,}46\,P_d$
Трехфазная двухтактная мостовая схема	$2{,}34\,U_2$	$0{,}427\,U_d$	$1{,}04\,U_d$	$1{,}23\,I_2$	$0{,}81\,I_d$	$\frac{0{,}82}{k}\,I_d$	$1{,}04\,P_d$	$1{,}04\,P_d$	$1{,}04\,P_d$

Таблица XVI.14

Электрические параметры выпрямительных диодов

Тип диода	Максимальные амплитудные значения обратного рабочего напряжения, *в* (при температуре, °С)			Максимальное значение падения напряжения, *в*	Максимальный выпрямленный ток, *ма*	Среднее значение обратного тока при максимальном рабочем напряжении, *мка* (t — 20° С)	Материал диода	Интервал рабочих температур, °С
	20	50	70					
Д7А	50	35	25	0,5	300	100	Германий	От — 60 до + 70
Д7Б	100	60	35					
Д7В	150	90	50					
Д7Г	200	125	65					
Д7Д	300	190	90					
Д7Е	350	220	110					
Д7Ж	400	250	130					
Д202	100	100	100	1	400	500	Кремний	От — 55 до + 85
Д203	200	200	200					
Д204	300	300	300					
Д205	400	400	400					
Д206	100	100	100	1	100	100	Кремний	От — 60 до + 120
Д207	200	200	200					
Д208	300	300	300					
Д209	400	400	400					
Д210	500	500	500					
Д211	600	600	600					
Д217	800	800	800	1	100 (от — 40 до + 60° С)	50	Кремний	От — 40 до + 100
Д218	1000	1000	1000					
Д226Б	400	400	300	1	300 (от — 60 до + 50° С)	100	Кремний	От — 40 до + 100
Д226В	300	300	200					
Д226Г	200	200	150					
Д226Д	100	100	70					
Д242	100	100	100	1,25	10^4	$3\cdot10^3$	Кремний	От — 60 до + 130
Д242А	100	100	100	1,0	10^4			
Д242Б	100	100	100	1,5	$5\cdot10^3$			
Д243	200	200	200	1,25	10^4			
Д243А	200	200	200	1,0	10^4			
Д243Б	200	200	200	1,5	$5\cdot10^3$			
Д244	50	50	50	1,25	10^4			
Д244А	50	50	50	1,0	10^4			
Д244Б	50	50	50	1,5	$5\cdot10^3$			
Д245	300	300	300	1,25	10^4			
Д245А	300	300	300	1,0	10^4	$3\cdot10^3$	Кремний	От — 60 до + 130
Д245Б	300	300	300	1,5	$5\cdot10^3$			
Д246	400	400	400	1,25	10^4			
Д246А	400	400	400	1,0	10^4			
Д246Б	400	400	400	1,5	$5\cdot10^3$			
Д247	500	500	500	1,25	10^4			
Д247Б	500	500	500	1,5	$5\cdot10^3$			
Д248Б	600	600	600	1,5	$5\cdot10^3$			
Д302	200	120	50	0,3	10^3	$0{,}8\cdot10^3$	Германий	От — 55 до + 70
Д302А	200	120	50	0,3	10^3	$1{,}2\cdot10^3$	»	От — 55 до + 55
Д303	150	120	50	0,35	$3\cdot10^3$ При температуре + 20° С	$1{,}0\cdot10^3$	»	От — 55 до + 70
Д303А	150	120	50	0,35	$3\cdot10^3$	$1{,}2\cdot10^3$	»	От — 55 до + 55
Д304	100	100	50	0,3	$5\cdot10^3$	$2{,}0\cdot10^3$	»	От — 55 до + 70
Д305	50	50	50	0,35	10^4	$2{,}5\cdot10^3$	»	От — 55 до + 70

Германиевые и кремниевые транзисторы имеют много свойств, общих со свойствами соответствующих диодов, и к ним относятся описанные выше рекомендации. Соответствие транзистора проекту проверяется путем сопоставления его паспортных данных с величинами, предусмотренными в рабочей схеме. В первую очередь контролируются следующие максимальные величины: ток коллектора $I_{к\,max}$, допустимое обратное напряжение $U_{к.э\,max}$, мощность на коллекторе $P_{к\,max}$, коэффициент усиления $\alpha = i_к/i_б$ и падение напряжения $\Delta U_{к.э}$ от прямого тока при полном открытии.

Расположение транзистора должно способствовать его охлаждению.

В случае применения радиатора для улучшения теплоотдачи между прибором и радиатором должен быть надежный тепловой контакт.

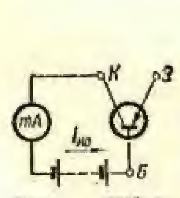


Рис. XVI.39. Схема измерения обратного тока коллекторного перехода.

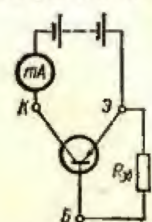


Рис. XVI.40. Схема измерения начального тока коллектора.

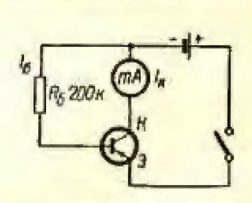


Рис. XVI.41. Схема приближенного определения коэффициента усиления транзистора по току β.

Первоначальный контроль качества транзисторов осуществляют путем измерения токов проводимости с помощью специализированных устройств (испытатель параметров плоскостных триодов типа Л2-1, измеритель параметров плоскостных триодов типа Л2-2, измеритель параметров мощных транзисторов типа Л2-13, измеритель параметров маломощных транзисторов типа Л2-18, измеритель параметров полупроводниковых приборов типа Л2-23 и др.) или простейших испытательных схем.

Обратный ток коллекторного перехода $I_{к.о}$ измеряется по схеме, приведенной на рис. XVI.39 при напряжении порядка 50% допустимого. Значения тока $I_{к.о}$ могут значительно отличаться друг от друга, но не должны превышать 0,2—0,5% номинального тока коллектора. С повышением температуры германиевых транзисторов $I_{к.о}$ удваивается на каждые 10° С, у кремниевых транзисторов обратный ток возрастает в 2,5 раза.

Начальный ток коллектора измеряют по схеме, приведенной на рис. XVI.40. Между базой и эмиттером включается сопротивление $R_{э\text{-}б}$. Для маломощных транзисторов оно обычно составляет 500—1000 *ом*, для мощных — 0—2 *ом*. Начальный ток коллектора $I_{к.н}$ почти линейно зависит от приложенного напряжения. Зная это, можно пересчитать ток $I'_{к.н}$, измеренный при напряжении $U_б$, отнеся его к максимальному напряжению коллектора $U_{к\,max}$:

$$I_{к.н.} = I'_{к.н.}\frac{U_{к\,max}}{U_б}. \qquad \text{(XVI.51)}$$

У качественных триодов при температуре 10—30° С начальный ток не превышает 5% максимального тока коллектора.

Коэффициент усиления по току $\beta = I_к/I_б$ приближенно может быть определен по схеме, приведенной на рис. XVI.41. Ток базы $I_б$ определяется как частное от деления напряжения источника питания на величину сопротивления $R_б$. Так, при напряжении источника питания, равном 4 *в*,

$$I_б = \frac{4}{200\cdot 10^3} = 2\cdot 10^{-2}\ ма,$$

откуда $\beta = 50\ I_к$.

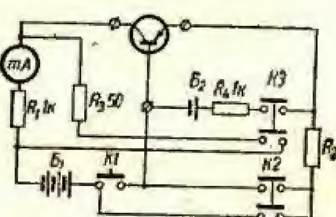


Рис. XVI.42. Комбинированная схема для контроля транзисторов.

На рис. XVI.42 приведена одна из простейших комбинированных схем для контроля триодов. При нажатии на кнопку $К_1$ измеряется обратный ток коллекторного перехода $I_{к.о}$. При нажатии на кнопку $К_2$ определяется начальный ток коллектора $I_{к.н}$. При одновременном нажатии кнопок $К_2$ и $К_3$ определяется коэффициент усиления по току β. Коэффициент β, начиная от тока, составляющего 5—10% номинального, мало зависит от величины приложенного напряжения, и поэтому грубую проверку триодов при пониженном напряжении можно считать достаточной. В испытательной схеме установлены добавочные сопротивления R_1, R_2, R_3 и R_4, предохраняющие от чрезмерного тока прибор, батарею и триод при неправильном включении или пробое.

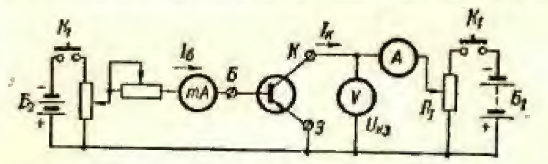


Рис. XVI.43. Схема для снятия статических характеристик транзисторов.

Из многочисленных характеристик триодов основными можно считать следующие зависимости: $I_к = f(I_б)$ при $U_к = \text{const}$; $I_к = f(U_к)$; при $I_б = \text{const}$ (внешняя или выходная вольтамперная характеристика). $I_б = f(U_{б.э})$ при $U_к = \text{const}$ (входная вольтамперная характеристика);

Характеристики прямой передачи по току $I_к = f(I_б)$ и внешние характеристики удобно снимать по схеме с общим эмиттером, приведенной на рис. XVI.43.

Внешние характеристики снимают для нескольких значений токов базы. Для этого предварительно рассчитывают допустимые соотношения между током и напряжением коллектора, определяемые наибольшей мощностью, рассеиваемой на коллекторе

$$I_к = \frac{P_{к\,max}}{U_к}, \qquad \text{(XVI.52)}$$

где $P_{к\,max}$ — наибольшая мощность, рассеиваемая на коллекторе (по справочным данным).

Если ток $I_к$ близок к номинальному, то соответственно должно быть снижено напряжение $U_{э.к}$ и, наоборот, в зависимости от величины напряжения ограничивается ток коллектора.

Ориентировочные выходные характеристики транзистора приведены на рис. XVI.44.

Во избежание излишнего нагрева испытуемого транзистора рекомендуется включать батарею на короткое время.

Измерять токи и напряжение можно любыми магнитоэлектрическими приборами с быстрым успокоением подвижной системы (для сокращения времени измерений).

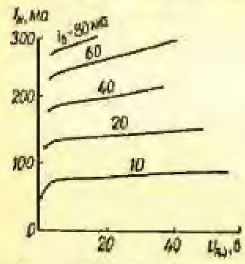


Рис. XVI.44. Выходные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером.

Снятие входных характеристик $I_б = f(U_{б.э})$ при $U_{к.э}$ = const проводится по схеме, приведенной на рис. XVI.45. Входное напряжение измеряют высокоомным вольтметром. Во избежание чрезмерного разогрева переходов напряжение $U_{э.к}$ должно быть на уровне 1,5—5 *в*. Входная характеристика существенно зависит от температуры эмиттерного перехода, и поэтому снимать ее следует очень быстро.

По аналогии с характеристиками электронных ламп, если в цепи коллектора есть сопротивление, можно снимать динамические входные характеристики транзисторов.

Выше рассмотрены статические характеристики транзисторов, снимаемые в схеме с общим эмиттером. Аналогично снимаются характеристики в схеме с общей базой. При всех возможных схемах для предотвращения повреждения транзисторов необходимо сохранить связь между эмиттером и базой. На характеристики транзисторов существенно влияет температура окружающей среды. Влияние это оценивается путем снятия характеристик транзисторов, располагаемых в термостате.

Надежность транзисторов можно оценить по следующим показателям. Транзисторы подвергаются воздействию переменной нагрузки по току и напряжению, приближающейся к номинальным данным. Периодически отключают нагрузку и после остывания замеряют начальный ток $I_{к.н}$ и ток обратной проводимости $I_{к.о}$; кроме того, определяют коэффициент усиления по току. Транзистор можно считать надежным, если указанные величины находятся в пределах нормы и отклоняются в пределах ±10% на протяжении испытательного срока. Транзисторы, предназначенные для работы в среде с повышенной температурой, рекомендуется отбирать по показателям тренировочного режима, в котором совмещаются переменная нагрузка с нагревом в термостате.

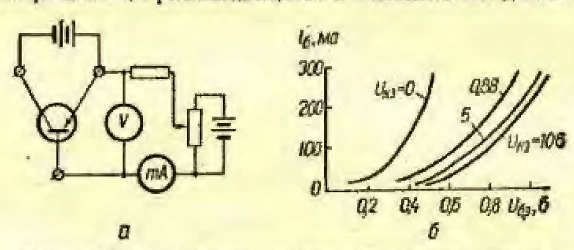


Рис. XVI.45. Входные характеристики транзистора:

а — схема испытаний; *б* — характеристика $I_б = f(U_{б.э})$.

Измерения в цепях с транзисторами (без разборки схемы)

Большинство схем с транзисторами собраны путем пайки, и отсоединение отдельных элементов с целью проверки нецелесообразно.

Сопротивления и емкости, присоединенные к схеме, измеряются обычными методами, несмотря на существенные затруднения из-за общих цепей с транзисторами. Во время измерения сопротивлений подключение прибора должно осуществляться таким образом, чтобы полярность источника питания была встречной по отношению к проводящим цепям транзистора и, естественно, чтобы величина напряжения была значительно ниже допустимого обратного напряжения. Если параллельно сопротивлению включена емкость, то показания следует отсчитывать после того, как закончится процесс зарядки конденсатора.

Измерение емкостей, включенных параллельно с сопротивлениями, можно осуществлять методом вольтметра-амперметра с последующим учетом активной составляющей тока, проходящего через сопротивление. Более простым является измерение с помощью мостика, у которого параллельно переменной емкости подключено сопротивление.

Если при контроле схем с радиолампами наиболее показательными являются величины напряжений на электродах лампы, то в цепях с транзисторами важно знать соотношение токов. Без разрыва цепей величины токов могут быть определены только расчетным путем по данным замеров напряжений на известных сопротивлениях. В тех случаях, когда для измерения тока приходится включать амперметр, рекомендуется распаивать схему не непосредственно у транзистора, чтобы уменьшить нагрев вывода триода. Собственное сопротивление миллиамперметра иногда искажает соотношение величин в контуре с транзистором. В этих случаях для измерения тока можно включить в контролируемую цепь малоомный шунт и определить падение напряжения на нем с помощью микроамперметра.

При измерении обратных токов переходов транзисторов следует всегда подключать к схеме базовый вывод первым и отключать его в последнюю очередь. При отключении транзисторов от схемы сначала выключается коллекторная цепь.

Тиристоры

Тиристоры (кремниевые управляемые вентили) выпускаются на токи до 150 *а* и напряжения до 1000 *в*.

Тиристоры характеризуются следующими основными параметрами.

1. Номинальный ток тиристора — среднее значение выпрямленного тока частотой 50 *гц* синусоидальной формы, протекающего через тиристор при работе в однофазной, однополупериодной схеме на активную нагрузку и угле проводимости 180 *электр. град* и номинальных (для данного типа тиристора) условиях охлаждения.

2. Номинальное напряжение — максимально допустимое мгновенное значение напряжения, длительно прикладываемое к тиристору в прямом и обратном направлениях в номинальном режиме работы.

3. Максимальное обратное напряжение — напряжение, соответствующее точке или области загиба обратной ветви вольтамперной характеристики тиристора, когда при небольшом приращении напряжения резко увеличивается обратный ток.

4. Максимальное напряжение переключения — прямое напряжение, при котором тиристор переходит из закрытого состояния в открытое при разомкнутом управляющем электроде.

5. Прямое падение напряжения — среднее за период значение напряжения на тиристоре при прохождении через него номинального тока.

6. Обратный ток и ток утечки — среднее значение тока, протекающего через тиристор с разомкнутым управляющим электродом в состоянии низкой проводимости при приложении к нему соответственного обратного или прямого напряжения, равного номинальному.

7. Ток управления тиристора — значение тока управления, при котором открывается тиристор.

8. Напряжение управления — значение напряжения на управляющем электроде, при котором открывается тиристор.

9. Максимально допустимая мощность в импульсе на управляющем электроде — величина мощности, которая не должна быть превышена ни при каких условиях.

10. Максимально допустимый ток через управляющий электрод — ток, превышение которого приводит к повреждению управляющего электрода.

11. Максимальное допустимое напряжение на управляющем электроде — наибольшая величина напряжения, при котором мощность на управляющем электроде не будет превышать предельно допустимой величины для данного типа тиристора.

12. Ток выключения — величина прямого тока через тиристор при разомкнутом управляющем электроде, при котором тиристор выключается.

13. Время включения тиристора — время от момента подачи управляющего импульса до момента снижения анодного напряжения на тиристоре до 10% начального значения при работе тиристора на активную нагрузку.

14. Время выключения тиристора — от момента, когда прямой ток через тиристор, снижаясь, достигает своего нулевого значения, до момента, когда тиристор способен выдерживать прикладываемое в прямом направлении напряжение определенной амплитуды и скорости нарастания.

Как и в тиратронах, после открытия тиристора управляющий электрод не влияет на его работу.

Для перевода вентиля в закрытое состояние надо снизить протекающий через него ток до величины, называемой током выключения. При отсутствии сигнала управления тиристор имеет большое сопротивление в прямом и обратном направлениях.

Тиристоры, как и силовые кремниевые диоды, весьма чувствительны к перегрузкам по току. Некоторые типы тиристоров допускают перегрузку по току на 25% в течение 30 *сек* и на 100% — в течение 1 *сек*. Устройства, в которых используются тиристоры, должны быть оборудованы защитой от перегрузок по току и устройствами, ограничивающими величину и скорость нарастания тока короткого замыкания, так как отключение коротких замыканий автоматами и предохранителями не предотвращает разрушения тиристора.

Для защиты используют токоограничивающие реакторы, мгновенное снятие управляющих импульсов, быстродействующие предохранители и др.

При работе тиристора возникают опасные перенапряжения, связанные с эффектом накопления носителей тока в тиристоре. Одним из методов ограничения этих перенапряжений является включение цепочки *RC* параллельно тиристору. Устройства с тиристорами должны также защищаться от коммутационных перенапряжений, возникающих со стороны постоянного тока.

Сигнал, открывающий тиристор, подается между управляющим электродом и катодом. Для открывания тиристора требуется ток управления не более нескольких десятых ампера.

Повышенный ток управления может вызвать чрезмерное перегревание тиристора, и его следует ограничить невыключаемым сопротивлением. Подача на управляющий электрод отрицательного напряжения может привести к повреждению тиристора, поэтому для защиты применяют вентиль, включаемый последовательно (или параллельно) с входной цепью.

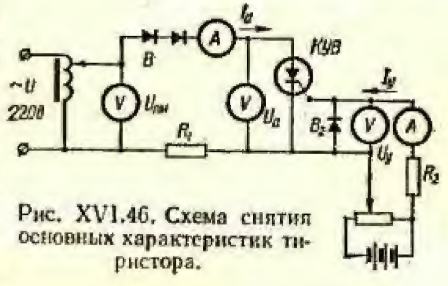


Рис. XVI.46. Схема снятия основных характеристик тиристора.

Приборы одного и того же типа подразделяются на классы — в зависимости от величины номинального напряжения — и на группы — в зависимости от величины прямого падения напряжения при номинальном токе.

Схема снятия характеристик тиристоров приведена на рис. XVI.46. В схеме применены защитные токоограничивающие сопротивления R_1, R_2 и срезающий вентиль B_2. Вольтамперные характеристики $I = f(U)$ снимают при нескольких значениях тока управления. На рис. XVI.47 приведена вольтамперная характеристика тиристора. В прямом направлении тиристор имеет две устойчивые области: область закрытого состояния, когда ток практически не проходит через прибор, и область включенного или открытого состояния, когда ток проходит через

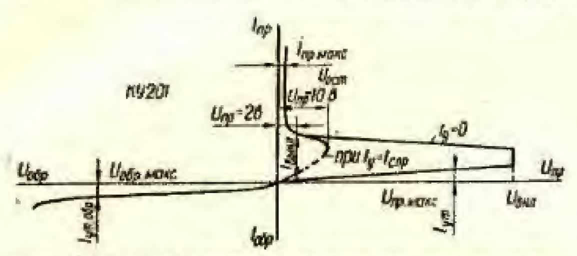


Рис. XVI.47. Статическая вольтамперная характеристика тиристора.

прибор при малом падении напряжения на нем. Переход тиристора из закрытого в открытое состояние происходит при подаче на него прямого напряжения выше определенной величины, называемой напряжением переключения. Напряжение переключения уменьшается при подаче на управляющий электрод тока управления. При определенной для каждого вентиля величине тока управления, называемой током спрямления, прямая ветвь вольтамперной характеристики становится аналогичной

прямой ветви обычного неуправляемого вентиля. С увеличением тока управления напряжение переключения уменьшается. Наряду с характеристиками управления снимаются входные характеристики тиристоров $U_y = f(I_y)$.

Для открытия тиристора достаточно на управляющий электрод подать импульс длительностью, измеряемой десятками микросекунд. Импульсное управление предпочтительнее, и в большинстве схем регуляторов на входную цепь тиристора подаются кратковременные сигналы с крутым фронтом. Характеристики импульсной управляемости тиристоров целесообразно снимать в нормальной рабочей схеме. В отдельных случаях при настройке режимов бывает удобно пользоваться генератором прямоугольных импульсов.

Одним из существенных достоинств управляемых кремниевых вентилей является способность сохранять управляющие свойства в широком диапазоне температур окружающей среды — от —50 до +110 °С.

Пригодность испытуемых экземпляров тиристоров для нормальной эксплуатации проверяют путем контрольной нагрузки. Режим испытаний под нагрузкой желательно приблизить к условиям работы: испытуемые тиристоры следует подвергать одновременному воздействию анодного переменного напряжения, главного тока и импульсного тока управления, превышающих их рабочие величины на 20—25%. При этом величины контрольной нагрузки должны быть ниже соответствующих номинальных величин испытываемых экземпляров. Надежность тиристора может быть установлена по неизменности характеристик управления, снимаемых после контрольной нагрузки.

Фотоэлементы и фотосопротивления

В схемах автоматического управления широко применяются различного рода фотореле. Основными элементами фотореле служат фотоэлементы и фотосопротивления, реагирующие на луч света специальных осветителей или на излучение нагретого металла.

Испытания фотоэлементов и фотосопротивлений выполняются в следующем объеме: 1) проверка соответствия технических данных параметрам схемы и условиям работы; 2) проверка правильности установки; 3) измерение темнового тока при рабочем напряжении; 4) формовка фотосопротивлений; 5) снятие вольтамперных характеристик.

Рис. XVI.48. Вольтамперные характеристики вакуумных фотоэлементов при различных величинах светового потока.

При наладке устройств автоматики вольтамперные характеристики снимаются при различных величинах светового потока и определяется минимальное напряжение насыщения фотоэлемента (точки *a* на рис. XVI.48). Снятие характеристики выполняется по той же схеме, что и для полупроводниковых диодов (рис. XVI.35).

На рис. XVI.48 приведены вольтамперные характеристики вакуумных фотоэлементов при различных величинах светового потока. Фотосопротивления в подавляющем большинстве случаев являются обычными линейными сопротивлениями, подчиняющимися закону Ома.

Величину светового потока определяют с помощью люксметра либо, при отсутствии его, сравнением фотоэлементов между собой или

по возможности с эталонным экземпляром. При снятии характеристик следует иметь в виду, что величина фототока зависит от температуры катода и, следовательно, от температуры окружающей среды. Если необходимо проверить работу фотоэлемента при повышенной температуре, пользуются термостатом с застекленным отверстием для луча света.

При наладке схем с фотосопротивлениями предварительная проверка фотосопротивлений включает измерение проводимости с помощью омметра в прямом и обратном направлениях, а затем измерение темнового тока и фототока при ярком освещении.

Вследствие сложности изготовления фотоэлементы одинаковых типов могут иметь сопротивления, существенно отличающиеся по величине; свойства фотоэлементов также по-разному изменяются с течением времени и при нагревании.

Большинство фотосопротивлений с повышением температуры понижает свое темновое сопротивление.

Формовка и отбраковка фотосопротивлений может проводиться путем циклического нагревания и охлаждения их в термостате с периодической подачей рабочего напряжения. Опыт показал, что при таком тренировочном режиме с изменением температуры в пределах 20—60° С контроль добротности достаточно вести по величине темнового тока. По мере циклического нагревания и охлаждения большинство элементов постепенно повышает свое темновое сопротивление, затем величина его стабилизируется, что является признаком окончания формовки. Из более простых методов при пуско-наладочных испытаниях рекомендуется формовка переменным током и напряжением, аналогичная формовке селеновых выпрямителей. Стабилизации параметров фотосопротивлений способствует также длительное освещение мигающим светом. Для промышленного использования следует отбирать фотосопротивления, темновой ток которых после формовки имеет стабильную величину и не превышает 25—30% фототока при засветке.

Магнитные усилители

Наладку магнитных усилителей выполняют в следующем объеме.

1. Внешний осмотр и проверка соответствия табличных данных проекту.
2. Испытание изоляции обмоток.
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.
4. Проверка полярности выводов обмоток.
5. Проверка вентилей магнитных усилителей.
6. Проверка числа витков обмоток.
7. Снятие характеристик намагничивания.
8. Испытания усилителя в режимах минимального и номинального тока нагрузки.
9. Определение динамического коэффициента усиления.

При наладке типовых магнитных усилителей в простых схемах обычно ограничиваются проведением испытаний по п. 1—5 и 8; остальные испытания дают характеристики, используемые при настройке режимов работы регулятора.

При внешнем осмотре проверяют качество шихтовки и затяжки сердечника, целость выводов и их изоляции, отсутствие механических повреждений обмоток, следов перегрева и др.

Испытание изоляции обмоток магнитного усилителя по отношению к корпусу и между собой проводится приложением напряжения

переменного тока 1000 *в* или мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*. В общем случае сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 *Мом*.

Сопротивление обмоток постоянному току измеряется с помощью одинарного моста.

Взаимную полярность обмоток проверяют индуктивным методом по схеме, приведенной на рис. XVI.49. К началу одной из обмоток управления через рубильник присоединяется положительный полюс источника постоянного тока. На остальные обмотки управления поочередно подключается вольтметр («плюс» вольтметра — к началу обмотки). Если полярность обмоток указана правильно, то при замыкании цепи

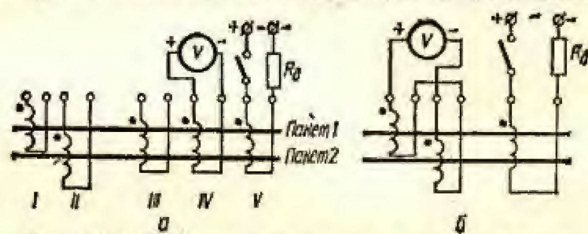


Рис. XVI.49. Схемы проверки полярности обмоток магнитного усилителя.

источника постоянного тока стрелка прибора отклонится вправо. В усилителях с внешней обратной связью обмотки переменного тока включаются навстречу друг другу (см. рис. XVI.49, *б*). При подаче напряжения на обмотку управления стрелка прибора, подключенного к встречно соединенным обмоткам переменного тока, не должна отклоняться (или давать малые отклонения). При неправильном взаимном включении или различном числе витков обмоток отклонение стрелки прибора будет значительным. Стрелка будет отклоняться также и в тех случаях, когда сердечники имеют неодинаковое сечение или неравномерно стянуты.

Методика проверки вентилей приведена выше.

Число витков обмоток можно проверить, измерив коэффициент трансформации. К одной из обмоток переменного тока подводится пониженное переменное напряжение. Вольтметром с большим внутренним сопротивлением измеряют напряжение на всех обмотках управления. Отношение измеренных величин напряжений должно соответствовать отношению числа витков испытуемых обмоток. Проверка числа витков второй обмотки переменного тока производится путем сопоставления результатов измерений при подаче напряжения на ее зажимы и повторном измерении напряжений на обмотках управления.

Аналогично проверке полярности выводов и числа витков обмоток однофазных усилителей проводится проверка обмоток трехфазных усилителей пофазно, от однофазного источника питания.

Снятие характеристик

Характеристика намагничивания (холостого хода) $I_0 = f(U)$ снимается для оценки качества магнитопровода или выбора величины питающего напряжения. Регулируемое напряжение переменного тока подводится к отдельным рабочим обмоткам, и снимается зависимость $I_0 = f(U)$ для каждого пакета (рис. XVI.50). Затем регулируемое напряжение подводится к последовательно-встречно включенным обмоткам *I* и *II*, и снимается общая характеристика намагничивания (рис. XVI.50, *б*). При этом измеряется напряжение на одной из обмоток управления. Если пакеты стали магнитопровода полностью идентичны, на обмотках управления не должно быть напряжения; практически из-за разной плотности шихтовки пакетов появляется напряжение небаланса. Напряжение небаланса, превышающее 10%, считается слишком большим, в этом случае следует проверить шихтовку пакетов магнитопровода и число витков рабочих обмоток.

Регулировочную характеристику $I_1 = f(I_y)$ снимают по схеме, приведенной на рис. XVI.51, *а*. В цепь управляющей обмотки вводится

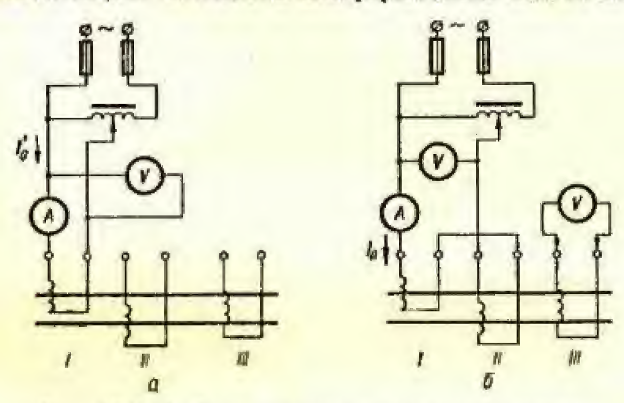


Рис. XVI.50. Схемы снятия характеристики намагничивания магнитных усилителей.

добавочное сопротивление $R_д$, превышающее активное сопротивление обмотки в 10—50 раз. Примерная регулировочная характеристика приведена на рис. XVI.51, *а*.

Рабочую характеристику $I_1 = f(I_y)$ снимают при полной рабочей схеме с внутренней (рис. XVI.51, *б*) или внешней (рис. XVI.51, *в*) обратной связью. На характеристики магнитного усилителя заметно влияют сопротивления вентилей (при применении селеновых вентилей) в прямом и обратном направлениях. Поэтому вентили следует испытать и при необходимости отформовать до снятия рабочих характеристик усилителя.

Крутизна характеристики усилителя зависит от величины обратной связи. Подбор величины обратной связи при наладке выполняется обычно следующими основными способами.

При необходимости уменьшить величину обратной связи вся обмотка обратной связи или часть ее шунтируется сопротивлением. Если усилитель имеет обмотку обратной связи с отпайками, величину обратной связи регулируют подбором отпайки. Для схем с внутренней обратной связью ее величину можно изменить, введя дополнительную обмотку обратной связи, по отношению к которой могут быть применены оба описанных способа. Для уменьшения величины обратной связи в схемах с внутренней обратной связью применяется шунтирование вентилей высокоомными сопротивлениями.

В большинстве схем магнитных усилителей одна из управляющих обмоток используется для смещения характеристик усилителя в рабочую зону. Величина тока обмотки смещения подбирается при наладке.

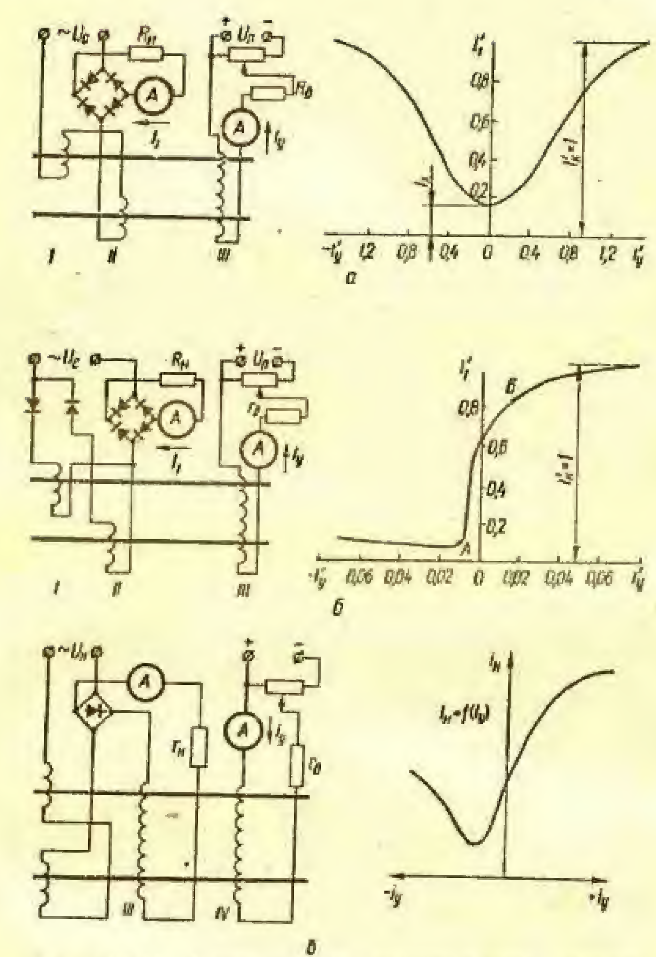


Рис. XVI.51. Схемы снятия регулировочной характеристики магнитного усилителя:

а — без обратной связи; *б* — с внутренней обратной связью; *в* — с внешней обратной связью.

Например, пусть рассматриваемый усилитель имеет характеристику $I_1 = f(I_y)$, представленную кривой *1* (рис. XVI.52, *б*); по условиям работы схемы требуется, чтобы регулирование тока нагрузки осуществлялось в пределах от I_1' до I_1'' при положительном направлении тока в обмотке управления. Перемещение характеристики усилителя в новую зону, соответствующую кривой *2*, осуществляется с помощью отдельной управляющей обмотки (*IV* на рис. XVI.52, *а*) создающей намагничивающую силу смещения $F_{см}$.

Для бесконтактного импульсного управления применяются магнитные усилители, работающие в релейном режиме. При релейной характеристике незначительное изменение тока управления I_y вызывает резкое изменение тока нагрузки I_1 от минимальной величины до максимальной. Релейность характеристики достигается введением дополнительной параллельной (обмотка *V* на рис. XVI.52, *а*) или последовательной обмотки обратной связи. На рис. XVI.52, *в* приведена группа характеристик, снятых при различных величинах тока в цепи обмотки обратной связи *V*.

Характеристика *4* является релейной, так как достаточно незначительного изменения тока управления на рабочем участке (от I_y' до I_y''), чтобы ток нагрузки изменился почти в полном диапазоне.

Для оценки переходных режимов снимают временные характеристики — зависимость изменения тока нагрузки $I_н$ во времени при резком изменении напряжения U_y на контуре обмотки управления. Характеристики снимают осциллографом при различных значениях тока I_y и добавочных сопротивлений $R_д$ в цепи управления (рис. XVI.53).

Рис. XVI.52. Смещение и повышение крутизны регулировочной характеристики магнитного усилителя:

а — схема; *б* — смещение характеристики в рабочую зону; *в* — повышение крутизны характеристик.

Из осциллограмм видно, как в зависимости от величины подводимого напряжения и добавочного сопротивления $R_д$ изменяется постоянная времени T (соответствующая нарастанию рабочего тока до 63% установившегося значения).

Осциллографирование используется также для определения динамического коэффициента усиления по мощности $K_д$. При снятии

осциллограммы в данном случае добавочное сопротивление должно превышать активное сопротивление обмотки смещения не менее чем в 50 раз, а мощность источника питания должна превышать мощность потребления обмотки управления не менее чем в 100 раз.

В рабочей цепи устанавливается номинальное активное сопротивление нагрузки $R_в$. Ток смещения подбирается по характеристике таким образом, чтобы в начале переходного процесса рабочий ток имел минимальное значение; ток управления подбирается с таким расчетом,

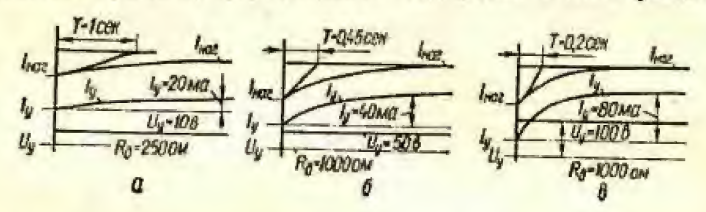


Рис. XVI.53. Осциллограммы процессов управления магнитного усилителя при различных параметрах цепи управления.

чтобы переходной процесс закончился при полном насыщении магнитопровода магнитного усилителя (т. е. при максимальном токе нагрузки). По осциллограмме определяется постоянная времени T. Коэффициент $K_д$ определяется по формуле

$$K_д = \left(\frac{\Delta I_i}{\Delta I_y}\right)^2 \cdot \frac{U_{в.н}}{I_н (r_y + r_д)} \cdot \frac{m}{T},$$

где $\frac{\Delta I_i}{\Delta I_y}$ — тангенс угла наклона характеристики магнитного усилителя на рабочем участке; $U_{в.н}$ — выпрямленное напряжение на нагрузке; $I_н$ — номинальный ток нагрузки; r_y, $r_д$ — сопротивления цепи обмотки управления; m — коэффициент, зависящий от числа фаз магнитного усилителя: при однофазном усилителе $m = 1$, при трехфазном — $m = \sqrt{3}$.

Глава XVII

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

Основные положения и требования, предъявляемые к релейной защите в электроустановках, определены в ПУЭ, «Руководящих указаниях по релейной защите» и других директивных материалах.

В объем наладки устройств релейной защиты при новом включении, как правило, входят:

1) ознакомление с проектом;

2) проверка правильности и качества выполнения монтажа цепей релейной защиты (см. гл. III) и внешний осмотр аппаратуры;

3) измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением изоляции аппаратов и проводок (см. гл. III);

4) проверка правильности выбора предохранителей и автоматов во вторичных цепях (см. гл. XVI);

5) проверка и регулировка релейной аппаратуры и вспомогательных устройств;

6) испытание приводов выключателей, короткозамыкателей, отделителей (см. гл. XIII), трансформаторов тока и напряжения (см. гл. XI);

7) проверка взаимодействия всех элементов схемы и действия защиты на выключатели (короткозамыкатели, отделители);

8) проверка защиты в целом током от постороннего источника и рабочим током (нагрузки).

При внешнем осмотре элементов защиты проверяется: а) наличие всей релейной и вспомогательной аппаратуры, предусмотренной проектом; б) соответствие ее проекту и требованиям ПУЭ; в) состояние защитных кожухов и крышек, а также уплотнительных прокладок между крышками и корпусом; г) наличие и правильность выполнения маркировки; д) заземление металлических корпусов аппаратуры и вторичных цепей в местах, предусмотренных проектом; е) наличие плавких вставок предохранителей и соответствие их проектным или расчетным данным; ж) соответствие проекту и ПУЭ сечения проводок вторичной коммутации (токовых, напряжения, оперативных); з) надежность крепления панелей, аппаратуры, реле, шпилек, штырей, ламелей, винтов и гаек, а также всех контактных соединений; и) наличие пломб, всех необходимых надписей, а также разделительных линий на панелях между аппаратурой разных присоединений; к) состояние кабельных разделок и др.

Общие указания по проверке релейной аппаратуры

Перед проверкой электрических характеристик реле проводится внешний осмотр и проверка механической части. При этом реле очищают от пыли и грязи, проверяют надежность внутренних соединений

проводников, а также затяжку винтов и гаек, проверяют свободное вращение (вручную) подвижной системы реле, состояние моментных пружин, витки которых должны лежать в одной плоскости, перпендикулярной оси, и не соприкасаться между собой.

Реле выпускаются проверенными и откалиброванными, не требующими, как правило, специальной регулировки перед включением в работу. Такая регулировка проводится только при значительных отклонениях от каталожных данных, а также при повреждениях реле.

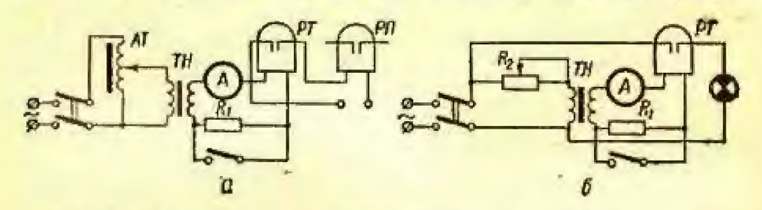


Рис. XVII.1. Схемы регулировки тока при проверке токовых реле с помощью нагрузочного трансформатора:
а — с регулировочным автотрансформатором АТ; *б* — с регулировочным реостатом.

Регулировку реле с изменением положения закрепленных деталей, полировкой осей, заменой подшипников, подгибанием контактных и и упорных пластин должен выполнять квалифицированный персонал только в случае необходимости.

Рекомендуется чистить контакты острым лезвием или надфилем, а затем полировать воронилом или протирать чистым лоскутом; не следует касаться контактов пальцами. При необходимости контакты можно промывать чистым этиловым спиртом, не допускается промывка бензином, нашатырным спиртом. Не следует смазывать оси и подшипники реле.

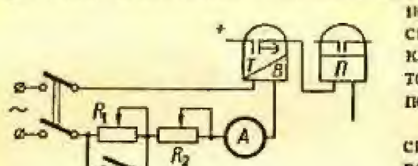


Рис. XVII.2. Схема регулировки тока без искажения формы кривой при проверке токовых реле.

При проверке электрических характеристик общими для всех реле являются следующие рекомендации.

1. Реле целесообразно проверять на месте установки; в некоторых случаях можно проверять в лабораториях с обязательной повторной проверкой контрольной точки характеристики после установки их на место.

2. Коэффициент возврата реле необходимо проверять во всех случаях (даже тогда, когда он не нормируется), поскольку он является показателем исправности реле.

3. Параметры срабатывания и возврата реле следует определять, как правило, при плавном изменении электрических величин.

4. Работу контактов реле нужно проверить при той же нагрузке, которую они несут в схеме защиты.

5. Электрические характеристики реле, изменяющих свои параметры при искажении формы кривой тока (индукционные реле, реле с НТТ и др.), следует проверять при соблюдении следующих условий: а) для питания реле нужно пользоваться линейным напряжением распределительной сети; б) для предотвращения влияния насыщения сердечников реле на форму кривой тока последовательно с реле необходимо включить активное сопротивление R_1 (рис. XVII.1 и XVII.2) такой величины, чтобы падение напряжения на нем при всех значениях тока было не меньше пяти-, десятикратного напряжения на реле (или на всех индуктивных сопротивлениях схемы).

6. Реле, подверженные вибрации, могущей привести к неправильным действиям или повышенному механическому износу, следует проверять на отсутствие вибрации в диапазоне токов, протекание которых в реле возможно при любом из режимов работы электроустановки.

При настройке и проверке электрических характеристик реле ток и напряжение от испытательных устройств желательно подводить к входным зажимам панели. В этом случае полностью учитываются имеющиеся в цепях реле различные вспомогательные устройства, влияющие на характеристики защиты, и обеспечивается дополнительная проверка правильности всего устройства защиты и взаимодействия реле в схеме.

Если реле имеет кожух, то перед проверкой электрических характеристик его следует надеть. Если кожух из немагнитного материала, проверку можно проводить со снятым кожухом.

Шкалу следует проверять не меньше чем в трех точках: в начале и конце шкалы и на рабочей уставке. За результат принимается среднее арифметическое из трех измерений для каждой точки.

Реле прямого действия

Общие технические данные реле прямого действия приведены в табл. XVII.1—XVII.6. На рис. XVII.3 и XVII.4 приведены характеристики реле типов РТВ различных исполнений.

Перед проверкой электрических характеристик реле проводится внешний осмотр и проверка механической части реле. При этом проверяют легкость движения сердечника реле, отсутствие зазубрин, шероховатостей, грязи, ржавчины и других дефектов поверхности сердечника и гильзы, наличие диамагнитных шайб, крепление часового механизма к корпусу реле РТВ и РНВ, затяжку винта в сердечнике и состояние короткозамкнутого витка на нем, а также действие системы ломающихся рычагов и крепление их к корпусу реле РН и РНВ, надежность работы часового механизма реле. Проверяется расстояние между ударником реле и рычагом релейного валика. Расстояния эти (в *мм*) для приводов типов ПРАМ-10 и ПРБА должны быть следующими:

Привод	Реле РТВ	Реле РН	Реле РТМ
ПРАМ-10	13	5	—
ПРБА	3	6—8	10—12

Проверку электрических характеристик токовых реле выполняют по схеме, приведенной на рис. XVII.5.

Ток срабатывания реле на заданной уставке проверяют при открытой крышке привода. Повышать ток в реле следует плавно. Коэффициент возврата реле не определяют из-за сложности проведения опыта и невозможности изменять этот коэффициент у реле прямого действия.

Токовременную характеристику реле снимают при закрытой крышке привода выключателя. Вначале на шкале реле устанавливают контрольную точку характеристики методом последовательных проб. Затем

Таблица XVII.1

Технические данные реле типа РТМ, встраиваемых в приводы типа ПП-61, ПП-67

Вариант исполнения реле	Воздушный зазор, мм	Уставка тока, а	Потребляемая мощность, ва: Якорь заторможен	Потребляемая мощность, ва: Якорь втянут	Полное сопротивление при заторможенном якоре, ом	Пределы плавного регулирования тока уставки: Воздушный зазор, мм	Пределы плавного регулирования тока уставки: Ток уставки, а	Число витков в катушке	Данные обмоточного провода: Марка	Данные обмоточного провода: Диаметр, мм
РТМ-I	36	5	16	58	0,64	34—47	4,9—7,4	250, отпайки: 184, 155, 92	ПЭЛБО	1,56
		7,5	20	67	0,36	34—47	7,2—10,8			
		10	28	90	0,28	34—47	9,6—15,5			
		15	26	73	0,12	34—47	14,6—22,0			
РТМ-II	36	10	23	71	0,23	34—47	9,2—14,4	150, отпайки: 86, 75, 68	ПЭЛБО	1,81
		15	20	62	0,089	34—47	14,2—20,5			
		20	28	79	0,07	34—47	18,4—30,5			
		25	40	100	0,064	34—47	23,0—41,0			
РТМ-III	40	30	66	220	0,073	34—47	25,0—38,0	76, отпайки: 69, 57, 30	ПЭЛБО	1,81
		40	108	310	0,068	34—47	33,0—58,0			
		50	143	345	0,057	34—47	43,0—67,0			
		60	104	200	0,029	34—47	54,0—81,0			
РТМ-IV	50	75	210	570	0,0375	44—57	54,0—108,0	55, отпайки: 51, 36, 20	ПБД	2,44
		100	365	800	0,0365	44—57	68,0—150,0			
		125	420	800	0,027	44—57	94,0—200,0			
		150	330	570	0,015	44—57	104,0—260,0			

Таблица XVII.2

Технические данные реле типа РТВ, встраиваемых в приводы типа ПП-61, ПП-67

Вариант исполнения реле	Уставка тока, а	Потребляемая мощность, ва: Якорь заторможен	Потребляемая мощность, ва: Якорь втянут	Полное сопротивление при заторможенном якоре, ом	Число витков в катушке	Данные обмоточного провода: Марка	Данные обмоточного провода: Диаметр, мм
РТВ-I и РТВ-IV	5	44	112	1,6	307, отпайки: 258, 218, 156	ПЭЛБО	1,81
	6	36	101	1,0			
	7,5	41	118	0,73			
	10	40	113	0,4			
РТВ-II и РТВ-V	10	40	114	0,4	151, отпайки: 120, 106, 92	ПБД	2,44
	12,5	40	114	0,26			
	15,0	44	125	0,2			
	17,5	45	125	0,15			
РТВ-III и РТВ-VI	20	37	107	0,092	69, отпайки: 59, 52, 48		
	25	41	116	0,066			
	30	44	126	0,049			
	35	52	142	0,043			

Таблица XVII.3

Технические данные реле типа РТМ, встраиваемых в привод типа ППМ-10

Исполнение реле (пределы уставок)	Уставка тока, а	Потребляемая мощность, ва: Якорь заторможен	Потребляемая мощность, ва: Якорь втянут	Сопротивление катушки, ом: Якорь заторможен	Сопротивление катушки, ом: Якорь втянут	Число витков в катушке	Данные провода катушки: Марка	Данные провода катушки: Диаметр, мм
5—15	5	18	50	0,72	2	220	ПБД	1,81
	10	50	160	0,5	1,6			
	15	105	300	0,47	1,33			
10—30	10	20	75	0,2	0,75	110	ПБД	1,81
	20	50	200	0,13	0,5			
	30	120	360	0,13	0,4			
20—60	20	22	72	0,06	0,18	55	ПБД	1,81
	40	84	216	0,06	0,14			
	60	210	400	0,06	0,11			
40—120	40	44	88	0,03	0,06	25	ПБД	1,81
	80	200	320	0,03	0,05			
	120	552	760	0,03	0,05			

Таблица XVII.4

Технические данные реле типа РТВ, встраиваемых в приводы типа ППМ-10

Исполнение реле (пределы уставок)	Уставка тока, а	Потребляемая мощность, ва		Сопротивление катушки, ом		Число витков в катушке	Данные провода катушки	
		Якорь заторможен	Якорь втянут	Якорь заторможен	Якорь втянут		Марка	Диаметр, мм
5—10	5	54	91	2,18	3,88	300	ПСД	1,81
	6	54,5	96	1,51	2,66	250		
	7	52	97	1,12	2,1	215		
	8	54,5	100	0,88	1,61	188		
	9	52	99	0,68	1,52	167		
	10	47	100	0,54	1,07	150		
11—20	11	33,5	88,5	0,5	0,96	130	ПСД	2,26
	12	39	104	0,45	0,9	124		
	14	41,3	102	0,33	0,65	104		
	16	45	100	0,23	0,46	85		
	18	49	100	0,19	0,35	73		
	20	58	108	0,17	0,33	69		
20—35	20	60	96	0,17	0,33	70	ПСД	2,26
	22	66	116	0,16	0,29	63		
	24	75	126	0,15	0,27	59		
	27	91,5	148	0,14	0,25	55		
	30	110	178	0,13	0,22	51		
	35	142	210	0,125	0,19	45		

Таблица XVII.5

Технические данные реле типа РТМ, встраиваемых в приводы типов ПРБА, РБА

Потребляемая мощность, ва	Уставка тока, а	Данные обмоточного провода		
		Число витков	Марка	Диаметр, мм
50	5	270	ПБД	1,81
	7	193		
	9	150		
	11	123		
	13	104		
	15	90		
50	5	270	ПБД	1,81
	7	193		
	8	169		
	10	135		
	12,5	108		
	15	90		

Таблица XVII.6

Технические данные реле минимального напряжения, встраиваемых в приводы типов ПП-61, ППМ-10, ПРБА, РБА

Тип привода	Тип реле	Номинальное напряжение, в	Потребляемая мощность при поднятом якоре, ва	Обмоточные данные				Выдержка времени, сек
				Диаметр провода	Число витков	Полное сопротивление, ом	Марка	
ПП-61, ПП-67	РНВ-Л	100	30	0,47	2700	330	ПЭВ-2	0—4 (±0,2)
		127	30	0,41	3480	540		
		220	30	0,31	6000	1600		
		380	30	0,23	10 300	4800		
ППМ-10	РНВ	100	30	0,44	2720	330	ПЭЛ	0—4
ПРБА, РБА	РН	110—127	30	ПЭЛ 0,38	3000	400	ПЭЛ	—
		220	30	0,29	6000	1600		
		380	30	0,2	10 800	4800		

Примечание. Реле срабатывают при напряжении в пределах 65—35% $U_н$. Напряжение возврата в пределах 65—85% $U_н$.

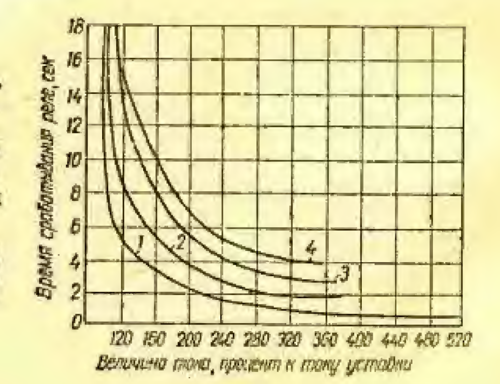


Рис. XVII.3. Зависимость времени срабатывания реле (типа РТВ) максимального тока с механической выдержкой времени от величины тока (привод ППМ-10):

1 — уставка времени 1 *сек*;
2 — уставка времени 2 *сек*;
3 — уставка времени 3 *сек*;
4 — уставка времени 4 *сек*.

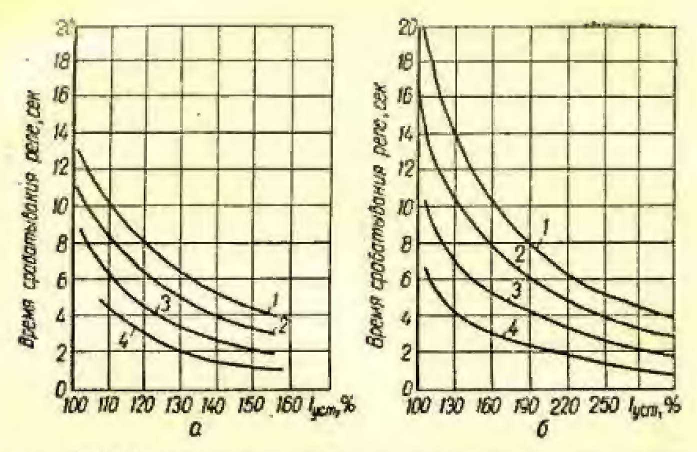


Рис. XVII.4. Зависимость времени срабатывания реле максимального тока с механической выдержкой времени от тока:
а — 120—170% от тока уставки; *б* — 250—350% от тока уставки; *1* — уставка времени 4 *сек*; *2* — уставка времени 3 *сек*; *3* — уставка времени 2 *сек*; *4* — уставка времени 1 *сек*.

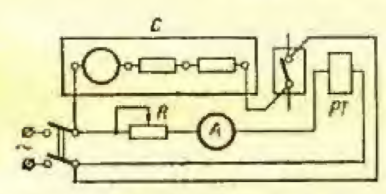


Рис. XVII.5. Схема проверки электрических характеристик токовых реле прямого действия:
PT — проверяемое реле; *C* — секундомер; *R* — реостат, позволяющий изменять ток от 2—3 до 40—50 *а*.

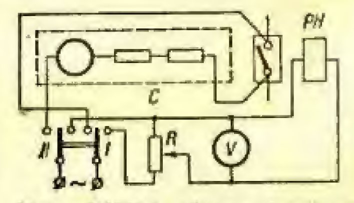


Рис. XVII.6. Схема проверки электрических характеристик реле минимального напряжения прямого действия.

снимают четыре-пять точек характеристики при токах, больших тока срабатывания в 1,5; 2; 3; 4 и 5 раз. Для получения каждой точки характеристики проводят три-четыре измерения; в протокол записывают среднее значение результатов измерения.

Точку характеристики, соответствующую току срабатывания реле, не определяют ввиду чрезмерно большого разброса реле по времени при этом токе.

Схема снятия характеристик реле минимального напряжения (типа РН, РНВ) приведена на рис. XVII.6. Напряжение срабатывания $U_{ср}$ и возврата $U_{в}$ таких реле определяют при плавном изменении подведенного к ним напряжения. Перекидной рубильник устанавливают в положение *I*.

При подаче на реле напряжения срабатывания сердечник отпадает, при напряжении возврата подтягивается. Напряжение срабатывания

составляет 35—65% номинального и регулируется для реле типа РН изменением натяжения пружины. Напряжение возврата составляет 65—85% номинального.

Коэффициент возврата определяется из выражения

$$k_{в} = \frac{U_{в}}{U_{ср}}. \quad \text{(XVII.1)}$$

Обычно $k_{в} = 1,5—2$.

Время срабатывания реле на заданной уставке проверяют при быстром переключении перекидного рубильника в положение *II* после того, как на реле подано номинальное напряжение. По истечении времени уставки выключатель отключает электросекундомер, фиксирующий время срабатывания реле. В протокол испытаний записывают среднее значение трех измерений.

Реле тока серии РТ-40 и реле напряжения серии РН-50

Реле серии РТ-40 и РН-50 применяется в цепях переменного тока с частотой 50—60 *гц*.

Технические данные реле серии РТ-40 приведены в табл. XVII.7. Погрешность реле составляет ±5% при температуре окружающего воздуха +20° С. Коэффициент возврата реле $k_{в}$ не менее 0,85 на первой уставке и не менее 0,8 на остальных. Дополнительной регулировкой достигают $k_{в} \geqslant 0,85$ на любой уставке шкалы, при этом на других уставках $k_{в} \geqslant 0,8$. Для реле с минимальной уставкой более 20 *а* на любой уставке $k_{в} \geqslant 0,7$. Собственное время срабатывания реле не более 0,1 *сек* при токе 1,2 $I_{уст}$ и 0,03 *сек* при токе 3 $I_{уст}$. При напряжении до 220 *в* и токе до 2 *а* разрывная мощность контактов 60 *вт* в цепи постоянного

Таблица XVII.7

Технические данные реле серии РТ-40

Тип	Последовательное соединение катушек			Параллельное соединение катушек			Потребляемая мощность реле при минимальной уставке, *ва*
	Пределы уставок, *а*	$I_{н}$, *а*	Термическая устойчивость, $I_{дп}$, *а*	Пределы уставок, *а*	$I_{н}$, *а*	Термическая устойчивость, $I_{дп}$, *а*	
РТ-40/0,2	0,05—0,1	0,5	0,55	0,1—0,2	1	1,1	0,2
РТ-40/0,6	0,15—0,3	1,6	1,75	0,3—0,6	3,2	3,5	0,2
РТ-40/2	0,5—1	3,8	4,15	1—2	7,6	8,3	0,2
РТ-40/6	1,5—3	10	11	3—6	20	22	0,5
РТ-40/10	2,5—5	16	17	5—10	32	34	0,5
РТ-40/20	5—10	18	19	10—20	36	38	0,5
РТ-40/50	12,5—25	25	27	25—50	50	54	0,8
РТ-40/100	25—50	25	27	50—100	50	54	1,8
РТ-40/200	50—100	25	27	100—200	50	54	8

тока с индуктивной нагрузкой (при постоянной времени $T = 5 \times 10^{-3}$ *сек*) и 300 *ва* в цепи переменного тока.

Технические данные реле серии РН-50 приведены в табл. XVII.8. Деления на шкале нанесены по нижнему диапазону. Переход с первого диапазона на второй осуществляется включением в цепь реле двух добавочных сопротивлений. Отклонения величин напряжения срабатывания от обозначенных на каждой уставке шкалы не более ±8% при температуре окружающего воздуха 20°. Потребляемая мощность для всех реле (за исключением РН-53/60Д) составляет около 1 *ва* при напряжении минимальной уставки и не более 5 *ва* при $U_н$ в первом диапазоне.

Таблица XVII.8

Технические данные реле серии РН-50

Тип и марка реле	Номинальное напряжение диапазона, *в*: первого	Номинальное напряжение диапазона, *в*: второго	Пределы уставки, *в*	Диапазон уставки. Первый: Напряжение срабатывания, *в*	Диапазон уставки. Первый: Длительно допустимое напряжение, *в*	Диапазон уставки. Второй: Напряжение срабатывания, *в*	Диапазон уставки. Второй: Длительно допустимое напряжение, *в*
Максимального напряжения:							
РН-53/60	30	60	15—60	15—30	33	30—60	66
РН-53/200	100	200	50—200	50—100	110	100—200	220
РН-53/400	200	400	100—400	100—200	220	200—400	440
РН-53/60Д	100	200	15—60	15—30	110	30—60	220
Минимального напряжения:							
РН-54/48	30	60	12—48	12—24	33	24—48	66
РН-54/160	100	200	40—160	40—80	110	80—160	220
РН-54/320	200	400	80—320	80—160	220	160—320	440

Коэффициент возврата реле РН-53 — не ниже 0,8 и реле РН-54 — не выше 1,25. Разрывная мощность контактов такая же, как у реле серии РТ-40.

При проверке и регулировке реле серий РТ-40 и РН-50 необходимо добиваться, чтобы:

люфт по оси подвижной системы находился в пределах 0,2—0,3 *мм*;

зазоры между полкой якоря и полюсами магнитопровода при притянутом якоре были одинаковыми и равнялись для реле РТ-40 и РН-53 — 0,65 *мм*, для реле РН-54 — 0,55 *мм*;

подвижные контактные мостики поворачивались на своей оси без заметного трения;

суммарный воздушный зазор между неподвижными и подвижными контактами в разомкнутом состоянии составлял около 2,5 *мм*;

угол поворота подвижного контактного мостика, а также расположение неподвижных контактов относительно него исключали возможность упора мостика в торец неподвижных контактов при повороте якоря на замыкание контактов;

контактный мостик касался неподвижных контактов немного дальше их внешнего края и скользил примерно по их средней линии;

при повороте якоря в крайнее положение подвижный контактный мостик доходил до края серебряных пластинок неподвижных контактов во избежание его заскакивания;

провал замыкающих контактов на первой уставке при втянутом якоре и провал размыкающих контактов при отпущенном якоре на той же уставке — не менее 0,3 *мм*;

при перемещении указателя уставки витки спиральной пружины не соприкасались при любом положении указателя в пределах шкалы.

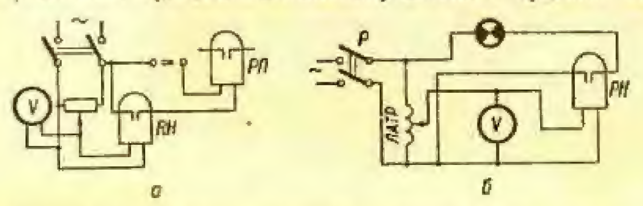


Рис. XVII.7. Схемы проверки электрических характеристик реле напряжения.

Токи и напряжения срабатывания и возврата реле определяют при плавном изменении по схемам, приведенным на рис. XVII.1 и XVII.7. Сопротивление R_1, включенное последовательно с обмоткой реле тока и превосходящее ее по сопротивлению в 7—10 раз, служит для исключения влияния перемещения якоря на величину тока в реле.

Для получения необходимой величины срабатывания на первой уставке шкалы необходимо, чтобы угол предварительного закручивания пружины был 27—30°. Если срабатывание на последней уставке шкалы происходит при величине, меньшей чем величина уставки, необходимая величина срабатывания может быть достигнута выведением левого упорного винта или отгибом размыкающих контактов и уменьшением закручивания пружины. Если срабатывание происходит при величине, большей чем величина уставки, необходимую величину срабатывания можно получить закручиванием левого упорного винта или подгибом размыкающих контактов и увеличением закручивания пружины. Необходимый коэффициент возврата достигается регулировкой положения якоря правым упорным винтом и подгибанием замыкающих контактов.

При величинах срабатывания и возврата подвижная система реле РТ-40 и РН-50 не должна останавливаться в промежуточном положении, замыкание и размыкание контактов должно быть четким.

Во избежание вибрации подвижной системы реле откалибровано так, чтобы расстояние от якоря до левого упора при обесточенной цепи было 0—0,5 *мм*, а расстояние от притянутого якоря до правого упора — 0,5—1 *мм* при калибровке на первой уставке, на последней уставке якорь будет лежать на упорах. Замыкающие контакты реле серии РТ-40 должны замыкаться без вибрации при токе срабатывания от 1,2 $I_{уст}$ и выше.

Реле тока типа ЭТД-551

Реле типа ЭТД-551 применяются в схемах защит от замыканий на землю в сетях с малым током замыкания на землю.

Реле типа ЭТД-551 выполнено на базе реле серии ЭТ-520. В отличие от ЭТ-520, на магнитопроводе ЭТД-551 имеется дополнительная, замкнутая на конденсатор обмотка для снижения потребляемой мощности реле.

Проверка проводится в том же объеме, что и реле серии РТ-40.

При внешнем осмотре и проверке механической части реле следует обращать внимание на то, чтобы продольный и поперечный люфты (зазоры) в осях не превышали 0,15—0,2 *мм*. Якорь во втянутом положении должен упираться в правый верхний винт упора. Между нижним винтом упора и плоскостью втянутого якоря сохраняется зазор 0,2—0,3 *мм*. Зазор между неподвижными контактами и мостиком (с каждой стороны) должен быть не меньше 1,5 *мм*. Регулируют реле таким образом, чтобы угол встречи подвижного и неподвижного контактов не превышал 25—35°. Совместный ход контактов при срабатывании реле должен составлять 1—1,5 *мм*.

Необходимо следить, чтобы зазоры контактного мостика позволяли ему поворачиваться вокруг оси на 10—15°. Погрешность срабатывания реле не более ±5%. Коэффициент возврата реле не менее 0,5.

Реле максимального тока с ограниченно зависимой характеристикой серии РТ-80 и РТ-90

Технические данные реле серий РТ-80 и РТ-90 приведены в табл. XVII.9. Временные характеристики реле приведены на рис. XVII.8—XVII.10. Мощность, потребляемая реле при токе, равном току уставки, для реле серии РТ-80 составляет 10 *ва*, для реле серии РТ-90 — не более

Таблица XVII.9

Технические характеристики реле серий РТ-80 и РТ-90

По току				По выдержке времени	
Реле	$I_н$, *а*	Диапазон уставок индукционного элемента, *а*	Кратность тока срабатывания электромагнитного элемента току срабатывания индукционного элемента	Реле	Время срабатывания реле, *сек*
РТ-80/1 РТ-90/1	10	4—10	2—8	РТ-81, РТ-85 РТ-91, РТ-95	0,5—4
				РТ-82	2—16
РТ-80/2 РТ-90/2	5	2—5	2—8	РТ-83 РТ-84 РТ-86	1—4 1—16 4—16

Примечание. Время срабатывания реле приведено при токе в реле, равном десятикратному току срабатывания.

30 *ва*. Коэффициент возврата — не более 0,8. Катушка реле серии РТ-80 длительно выдерживает 1,1 $I_н$, катушка реле серии РТ-90 — 1,1 $I_{уст}$.

Контакты реле типа РТ-81 и РТ-82, а также основные контакты реле РТ-83 и РТ-84 допускают замыкание цепи постоянного тока, равного 5 *а* при 220 *в* (разрыв цепи выполняется другим аппаратом); при размыкании контакты допускают разрыв цепи переменного тока, равного 2 *а*,

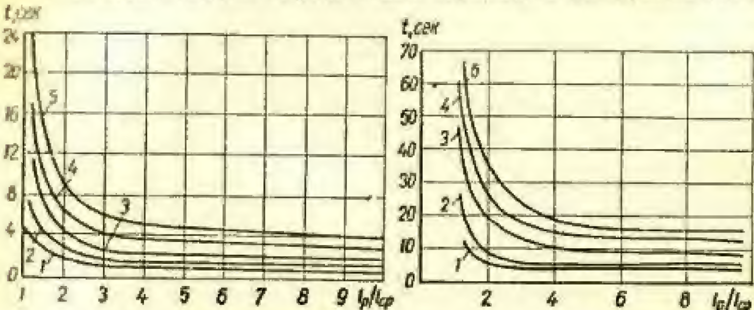


Рис. XVII.8. Временные характеристики реле типов РТ-81, РТ-83 и РТ-85:

1 — уставка 0,5 *сек*; *2* — уставка 1 *сек*; *3* — уставка 2 *сек*; *4* — уставка 3 *сек*; *5* — уставка 4 *сек*.

Рис. XVII.9. Временные характеристики реле типов РТ-82, РТ-84 и РТ-86:

1 — уставка 2 *сек*; *2* — уставка 4 *сек*; *3* — уставка 8 *сек*; *4* — уставка 12 *сек*; *5* — уставка 16 *сек*.

и постоянного тока 0,5 *а* при напряжении до 220 *в*. Если управляемая цепь питается от трансформатора тока и при токе 4 *а* имеет полное сопротивление не более 4 *ом*, то контакты реле способны шунтировать и дешунтировать эту цепь при токе до 50 *а*. Переключающие контакты реле РТ-85 и РТ-86 способны дешунтировать управляемую цепь при токах до 150 *а*, если эта цепь питается от трансформатора тока и ее полное сопротивление при токе 3,5 *а* не более 4 *ом*. Коммутационная способность сигнальных контактов реле РТ-83, РТ-84 и РТ-86 при напряжении 220 *в* в цепи постоянного тока составляет 0,2 *а*, а в цепи переменного тока — 1 *а*. Коммутационная способность контактов реле серии РТ-90 такая же, как у соответствующих реле серии РТ-80. Погрешности реле при разных уставках времени при десятикратном токе уставки приведены в табл. XVII.10.

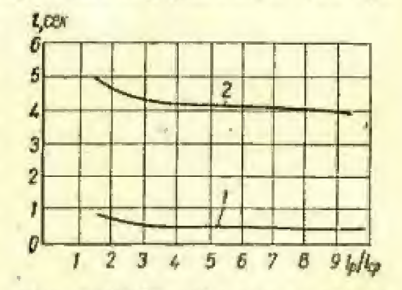


Рис. XVII.10. Временные характеристики реле серии РТ-90:

1 — уставка 0,5 *сек*; *2* — уставка 4 *сек*.

При проверке и регулировке реле серий РТ-80 и РТ-90 необходимо, чтобы:

якорь отсечки без трения поворачивался вокруг своей оси и имел свободный ход по оси 0,1—0,2 *мм*;

правый конец якоря с короткозамкнутым витком при срабатывании прилегал к магнитопроводу всей плоскостью;

диск не касался полюсов магнитной системы как в нормальном, так и в повернутом на 180° положении;

червячная передача была исправной;

при сцеплении с червяком сектор плавно поднимался до конца нарезки без заеданий и соскальзывания; сцепление при этом должно быть свободным с небольшим зазором.

Таблица XVII.10

Погрешности реле серий РТ-80 и РТ-90

Серия реле	Установка времени, сек	Погрешность, сек
РТ-81, РТ-83, РТ-85, РТ-91, РТ-95	0,5	±0,1
	1	±0,15
	2	±0,2
	3	±0,2
	4	±0,25
РТ-82, РТ-84, РТ-86	2	±0,5
	4	±0,5
	8	±0,6
	12	±0,75
	16	±0,1

Проверка ведется при максимальной уставке по времени и минимальной уставке по току, а также на рабочих уставках.

Зазоры между контактами для всех реле за исключением РТ-85, РТ-86 и РТ-95 должны быть для главных и сигнальных замыкающих контактов, а также для главных размыкающих контактов (после срабатывания) — не менее 2 *мм*; ограничители должны слегка касаться контактной пружины главных контактов. Зазор между замыкающими контактами реле РТ-85, РТ-86 и РТ-95 должен быть 1,5 *мм*; зазор между размыкающими контактами (после срабатывания) должен быть 2 *мм*.

Величины зазоров главных контактов при необходимости регулируются подгибанием упоров замыкающих и размыкающих контактов и контролируются щупом. Между сигнальными контактами в реле типа РТ-86 зазор должен быть не менее 1,5 *мм*. При срабатывании реле контактная пружинная пластинка размыкающего контакта должна ложиться на упор с небольшим прогибом (0,3—0,5 *мм*). Для реле РТ-85, РТ-86 и РТ-95 нажатие в размыкающих контактах должно быть не менее 8 *г*. При необходимости нажатие регулируется подгибанием бронзовой контактной пластины.

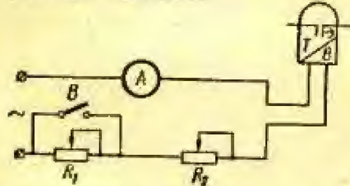


Рис. XVII.11. Схема проверки коэффициента возврата реле серии РТ-80.

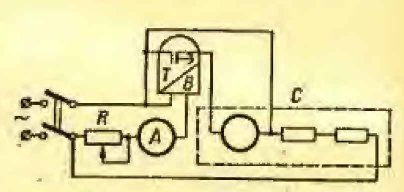


Рис. XVII.12. Схема проверки времени срабатывания реле серии РТ-80.

Электрические характеристики реле проверяют по схемам, приведенным на рис. XVII.2, XVII.11, XVII.12, XVII.13.

Величины токов начала свободного вращения диска реле серий РТ-80 и РТ-90 приведены в табл. XVII.1 .

Индукционный элемент реле следует проверять при питании от линейного напряжения сети и регулировке тока с помощью реостата

(без нагрузочного трансформатора) во избежание искажения формы кривой тока. Ток срабатывания, т. е. минимальный ток, при котором контакты замыкаются под действием сектора, должен быть равен току уставки с допуском ±3%.

При больших отклонениях регулировку осуществляют изменением затяжки арретирующей пружины с помощью регулировочного винта.

Отсутствие вибрации контактов проверяется в реле РТ-85 и РТ-95 при токе срабатывания индукционного элемента, в реле РТ-86 — при токе срабатывания элемента отсечки при его уставке на первую точку шкалы. При вибрации контактов следует подпилить чистым надфелем заклепку в магнитопроводе реле (предназначенную для предотвращения залипания якоря и вибрации контактов).

Коэффициент возврата реле проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.11. Сопротивлением R_2 устанавливается ток $I_1 \approx 5\,I_{ср}$, затем размыканием выключателя *B* дополнительно вводится сопротивление R_1, снижающее ток в обмотке реле до предварительно установленной величины I_2. При сбросе тока от значений I_1 до I_2 в любом положении сектора должно произойти расцепление сектора и червяка. При необходимости коэффициент возврата изменяется взаимосвязанной регулировкой стальной скобы на рамке реле и арретирующей пружины; при этом необходимо следить, чтобы эта пружина надежно возвращала подвижную систему в начальное положение. После регулировки тока возврата проверяют ток срабатывания реле и в случае необходимости регулируют вновь.

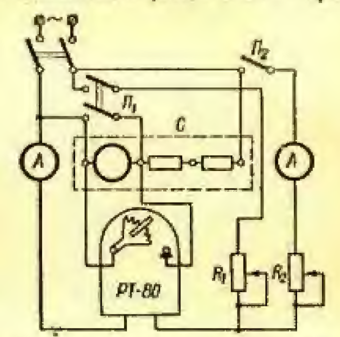


Рис. XVII.13. Схема измерения времени возврата реле серии РТ-80 при сбросе аварийного тока.

Таблица XVII.11

Ток начала свободного вращения диска реле

Тип реле	Ток уставки, *а*	Максимальный ток начала свободного вращения диска, *а*
Все реле в исполнении РТ-80/1 и РТ-90/1	4	1,0
Все реле в исполнении РТ-80/2 и РТ-90/2	2	0,5

Шкалу кратностей токов отсечки проверяют толчком при крайних уставках 2 и 8. Испытания при больших токах ведутся при кратковременном включении во избежание перегрева реле. В случаях значительных расхождений тока срабатывания отсечки с уставками регулировка производится с помощью регулировочного винта отсечки.

Проверка временных характеристик производится по схеме, приведенной на рис. XVII.12, в рабочей точке.

В случае необходимости по условиям селективности работы защиты проверяется время возврата реле (рис. XVII.13).

При проверке времени реостатом R_2 устанавливают ток, равный 75% тока возврата реле, а при пользовании реостатом R_1 — максимальный расчетный вторичный ток короткого замыкания. После включения рубильников $П_1$ и $П_2$, когда рычаг сектора достигает коромысла отсечки, отключают рубильник $П_1$. Во время испытаний на нижнем упоре сектора устанавливают дополнительный нормально замкнутый контакт.

Время возврата реле не должно превышать 0,5 *сек.* Если же оно слишком велико, уменьшают глубину зацепления сектора с червяком и увеличивают натяжение возвратной пружины рамки. После проведенной регулировки необходимо провести контрольную проверку тока срабатывания реле.

При надетом кожухе проверяют надежность срабатывания и ручного возврата механического указателя срабатывания реле.

Токовые дифференциальные реле типов РНТ и ДЗТ

Проверку реле типов от РНТ-565 до РНТ-567 и ДЗТ-11, ДЗТ-13 и ДЗТ-14 при новом включении выполняют в таком объеме: внешний осмотр, проверка механической части реле, испытания изоляции, проверка электрических характеристик и параметров реле.

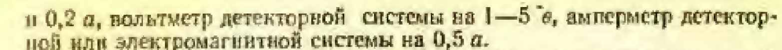
Рис. XVII.14. Схема для проверки параметров исполнительного органа реле типов РНТ и ДЗТ.

Внешний осмотр и испытания изоляции проводятся в соответствии с приведенными выше общими указаниями по проверке реле. Затем проверяется состояние механической части насыщающегося трансформатора тока (НТТ): все винтовые соединения должны быть затянуты и иметь шайбы, штепсельные винты коммутатора должны иметь резьбу по всей длине и создавать надежный контакт между наружными и внутренними контактными элементами коммутатора; проверяют механическую часть исполнительного органа (для реле РТ-40).

Проверка электрических характеристик и параметров реле проводится в следующем объеме.

1. Проверка исполнительного органа без НТТ. Проверка выполняется по схеме, приведенной на рис. XVII.14 на заводской уставке (поводок противодействующей пружины установлен на середине шкалы). Измеряются токи и напряжения срабатывания и возврата исполнительного органа. Чтобы замер напряжения срабатывания был правильным, его лучше выполнять при отведении в исходное положение якоря реле после его срабатывания. Для реле РТ-40 ток срабатывания 0,17 ± 0,01 *а*, напряжение срабатывания 3,6 ± 0,1 *в*. Коэффициент возврата по току 0,8—0,9.

При индукции срабатывания 1,0—1,2 *тл* напряжение на зажимах обмотки исполнительного органа имеет явно выраженную несинусоидальную форму, однако форма тока в обмотке исполнительного органа близка к синусоидальной благодаря преобладающему индуктивному сопротивлению обмотки. В схеме используется реостат на 1000—2000 *ом*


и 0,2 *а*, вольтметр детекторной системы на 1—5 *в*, амперметр детекторной или электромагнитной системы на 0,5 *а*.

2. Проверка м. д. с. срабатывания реле. М. д. с. срабатывания реле определяется по схеме, приведенной на рис. XVII.15, при полном числе включенных витков рабочей обмотки и собранной схеме реле. Для реле РНТ проверка проводится при сопротивлении, включенном в цепь короткозамкнутой обмотки $r_к = 0$. При испытании реле ДЗТ тормозные обмотки не должны обтекаться током.

М. д. с. срабатывания реле определяют как произведение тока срабатывания на число включенных витков первичной обмотки, т. е. $F_{ср} = I_{ср} w_1$, величина ее 100 ± 2 *ав*. При отклонении м. д. с. срабатывания от нормы, приближающемся к 10%, проводится регулировка. Для этого регулируют нагрузочное сопротивление в цепи вторичной обмотки.

После настройки м. д. с. срабатывания следует проверить индукцию срабатывания реле. Вольтметром детекторной системы измеряют напряжение $U_{2с}$ на обмотке исполнительного органа при заклиненном в исходном положении якоре. Индукция срабатывания реле

$$B_{ср} = \frac{U_{2с}}{4{,}44 f w_2 Q \cdot 10^{-4}}, \qquad \text{(XVII.2)}$$

где w_2 — полное число витков вторичной обмотки, охватывающей крайние стержни НТТ с поперечным сечением $Q = 1{,}25$ *см*²; f — частота сети, *гц*. $B_{ср}$ должно быть в пределах 1,2 ± 0,1 *тл*.

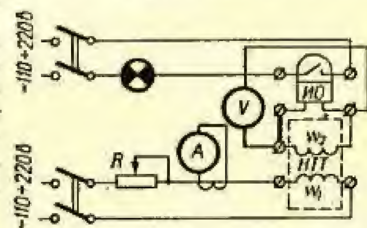


Рис. XVII.15. Схема для определения м. д. с. срабатывания и снятия вольтамперных характеристик НТТ реле типов РНТ и ДЗТ.

При настроенной м. д. с. срабатывания определяется коэффициент возврата реле по первичному току, который должен составлять величину 0,6—0,7. М. д. с. срабатывания следует определять при синусоидальном токе. Наилучшие результаты дает реостатная схема (см. рис. XVII.15) испытаний, причем для уменьшения влияния насыщения сердечника НТТ на форму тока напряжение на первичной обмотке НТТ при полном числе витков и пятикратном токе срабатывания не должно превышать 10% напряжения, приложенного к схеме:

$U_р < 10\% \, U_{сх}$, или $R \geqslant 10 z_р$, где $z_р = S_р / I_{ср}^2$ — полное сопротивление реле в условиях срабатывания; $S_р$ — мощность, потребляемая реле при срабатывании; $I_{ср}$ — ток срабатывания. В схеме используется реостат на 200—300 *ом* и 2—3 *а*, амперметр с трансформатором тока на 1—15 *а*, детекторный вольтметр на напряжение 1—5 *в*.

3. Проверка правильности выполнения первичных обмоток НТТ. Правильность выполнения первичных обмоток проверяется на всех отпайках по схеме, приведенной на рис. XVII.15. М. д. с. срабатывания во всех случаях должна быть 100 ± 2 *ав*.

4. Снятие вольтамперных характеристик НТТ. Вольтамперная характеристика представляет собой зависимость вторичного напряжения на обмотке исполнительного органа при заклиненном в исходном положении якоре от м. д. с. срабатывания реле. Эта характеристика снимается по схеме, приведенной на рис. XVII.15, при значениях сопротивления, включенного в цепь короткозамкнутой обмотки, $r_{к.з} = 10$ *ом* и $r_{к.з} = 0$. Для построения характеристики $U_2 = f(F_1)$ находят напря-

жения U_2 при значениях м. д. с., равных 0,5 $F_{ср}$; $F_{ср}$; $2F_{ср}$; $3F_{ср}$; $5F_{ср}$. По этой характеристике судят об исправности магнитной системы и обмоток НТТ. Для реле ДЗТ с несколькими НТТ вольтамперные характеристики снимаются для каждого НТТ при отсоединенных вторичных обмотках остальных сердечников. По характеристике определяют также надежность работы реле при внутренних повреждениях защищаемого оборудования. Это осуществляется путем приближенного определения

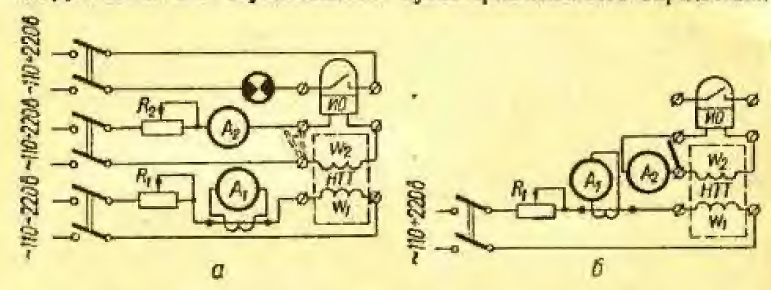


Рис. XVII.16. Схемы для определения кратности вторичного тока реле типов РНТ и ДЗТ:

а — с помощью исполнительного органа; *б* — с помощью амперметра во вторичной цепи.

кратности вторичного тока по напряжению на обмотке исполнительного органа при кратностях м. д. с. срабатывания, равных 2 и 5:

$$\frac{I_{2-2}}{I_{2с}} \approx \frac{U_{2-2}}{U_{2с}} = 1,2 \div 1,3;$$
$$\frac{I_{2-5}}{I_{2с}} \approx \frac{U_{2-5}}{U_{2с}} = 1,35 \div 1,5, \quad \text{(XVII.3)}$$

где I_{2-2} и I_{2-5} — токи в обмотке исполнительного органа при кратностях м. д. с. срабатывания 2 и 5 соответственно; U_{2-2} и U_{2-5} — измеренные на обмотке исполнительного органа напряжения при кратностях м. д. с. срабатывания 2 и 5 соответственно; $I_{2с}$ и $U_{2с}$ — ток и напряжение срабатывания исполнительного органа.

5. Определение кратности вторичного тока. У реле типов РНТ и ДЗТ вследствие насыщения стали существует непропорциональность между током первичной цепи НТТ и его вторичным током в обмотке исполнительного органа. В связи с этим для оценки поведения дифференциальных защит при внутренних повреждениях необходимо проверять кратность вторичного тока при различных кратностях первичного тока НТТ. Кратность вторичного тока в реле определяется по схемам, приведенным на рис. XVII.16. Проверка реле РНТ выполняется при сопротивлении в цепи короткозамкнутой обмотки, равном нулю.

Для реле ДЗТ кратность вторичного тока определяется при числе витков тормозной обмотки $w_т = 0$ и при $w_т = 0,4\, w_р$ (соединение обмоток последовательное), где $w_р$ — число витков рабочей обмотки). При значениях первичного тока НТТ, равных $I_{ср.н}$, $2I_{ср.н}$, $3I_{ср.н}$, $5I_{ср.н}$ ($I_{ср.н}$ — начальный ток НТТ при срабатывании реле), измеряются величины вторичного тока I_2. Отношение величины вторичного тока при

двух- и пятикратном значениях первичного тока срабатывания реле ко вторичному току срабатывания реле должны быть не менее 1,2 и 1,35 соответственно.

Вторичный ток в реле можно измерять двумя способами.

П е р в ы й с п о с о б (рис. XVII.16, *а*). Поводок противодействующей пружины исполнительного органа устанавливается в крайнее правое положение; к первичной обмотке реле поочередно подводится одно-, двух- и пятикратный токи срабатывания; плавным перемещением поводка влево доводят реле до срабатывания; затем, не изменяя положения поводка, непосредственно к обмотке исполнительного органа подводят синусоидальный ток и определяют его величину при срабатывании. Отношение тока срабатывания исполнительного органа при данной

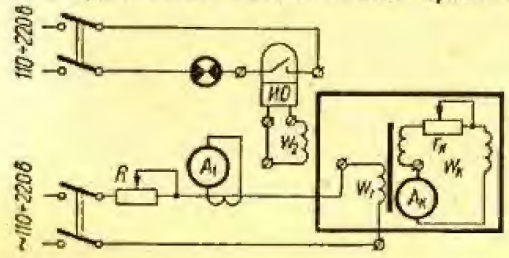


Рис. XVII.17. Схема проверки короткозамкнутой цепи реле РНТ.

кратности первичного тока к току срабатывания при однократном первичном токе и есть искомая кратность вторичного тока.

В т о р о й с п о с о б (рис. XVII.16, *б*). Одновременно с первичным током измеряется и вторичный ток в реле с помощью амперметра с малым потреблением (типа Э-59 на пределах 0,5 и 1,0 *а*). При этом якорь исполнительного органа должен быть зафиксирован в несработавшем положении. Включение амперметра в цепь вторичной обмотки несколько увеличивает сопротивление цепи, однако практически на результатах измерений это не отражается.

6. Проверка правильности выполнения короткозамкнутой обмотки НТТ. Проверка выполняется по схеме, приведенной на рис. XVII.17 при величине сопротивления в цепи короткозамкнутой обмотки, равной нулю. По первичной обмотке НТТ пропускается синусоидальный ток, ток короткозамкнутой обмотки контролируется электромагнитным амперметром (типа Э-59 на пределы 5—10 *а*). Измерение проводится в момент срабатывания реле. Полученные значения м. д. с. короткозамкнутой обмотки не должны отличаться от расчетных более чем на 5%. Изменение сопротивления короткозамкнутой цепи во всем диапазоне не должно оказывать существенного влияния на величину тока в этой цепи, а также на величину м. д. с. срабатывания. Размыканию цепи короткозамкнутой обмотки должно соответствовать уменьшение м. д. с. срабатывания реле приблизительно на 25%. При неверном включении одной из частей короткозамкнутой обмотки м. д. с. срабатывания также уменьшается, а ток короткозамкнутой обмотки близок к нулю.

7. Экспериментальное определение зависимости относительного тока срабатывания от коэффициента смещения $E = f(k)$. Степень отстройки реле от неустановившихся переходных режимов с апериодической слагающей может плавно регулироваться сопротивлением $r_{к.з}$ в цепи короткозамкнутой обмотки и характеризуется кривой $E = f(k)$.

Здесь

$$E = \frac{I'_{ср}}{I_{ср.н}}, \qquad (XVII.4)$$

т. е. отношение тока срабатывания реле $I'_{ср}$ при наличии постоянной составляющей к току срабатывания $I_{ср.н}$ при отсутствии постоянной

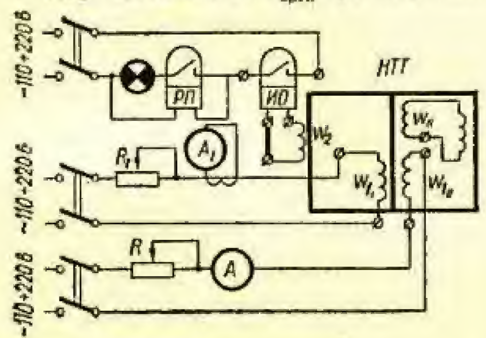


Рис. XVII.18. Схема для снятия характеристик реле типа РНТ.

составляющей; x — отношение постоянного тока подмагничивания $I_п$ к току срабатывания реле при наличии постоянной составляющей, т. е.

$$x = \frac{I_п}{I'_{ср}}. \qquad (XVII.5)$$

Снятие характеристики выполняется по схеме, приведенной на рис. XVII.18.

Характеристика снимается при пропускании по различным первичным обмоткам НТТ постоянного и синусоидального токов при сопротивлении $r_к = 0$ и $r_к = 10$ *ом*. Для значений м. д. с. постоянного тока $F_п = I_п w_{III}$, равных $0{,}2F_{ср.н}$; $0{,}5F_{ср.н}$; $1F_{ср.н}$; $2F_{ср.н}$; $5F_{ср.н}$, измеряется ток срабатывания реле $I'_{ср}$. По (XVII.4) и (XVII.5) определяются величины E и x. Полученные характеристики должны быть близки к типовым (рис. XVII.19), а значения E при $x = 0{,}5$ не должны отличаться от каталожных данных более чем на 5%.

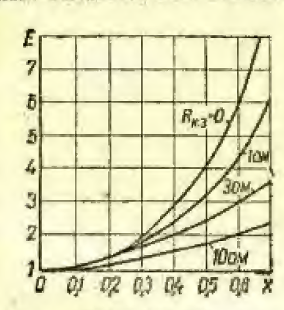


Рис. XVII.19. Характеристика реле РНТ.

8. Проверка правильности выполнения тормозных обмоток НТТ (для реле типа ДЗТ). Испытания проводятся для того, чтобы убедиться, что между тормозной и вторичной обмотками каждого НТТ нет взаимной индукции и в том, что отводы тормозной обмотки выполнены правильно. Проверка отсутствия взаимоиндукции производится по схеме, приведенной на рис. XVII.20, при полном числе витков тормозной обмотки. К тормозной обмотке подводится ток, создающий м. д. с. $F_т = 2F_{ср.н}$, и с помощью электронного вольтметра измеряется напряжение небаланса на обмотке исполнительного органа. При правильном включении катушек тормозной обмотки напряжение небаланса не должно превышать 3% напряжения срабатывания исполнительного органа.

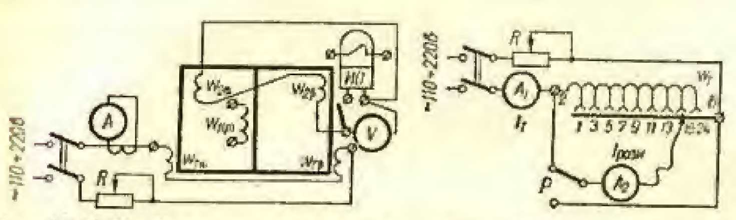


Рис. XVII.20. Схема проверки взаимоиндукции между тормозной и вторичной обмотками реле типа ДЗТ.

Рис. XVII.21. Схема для проверки правильности выполнения отводов тормозной обмотки реле типа ДЗТ.

Правильность выполнения отводов проверяется при включении тормозной обмотки по схеме автотрансформатора тока (рис. XVII.21). Отношение измеренных токов должно соответствовать отношению чисел витков. Удовлетворительная точность измерения получается, если м. д. с. тормозной обмотки не превышает 25—30 *ав*, а число витков,

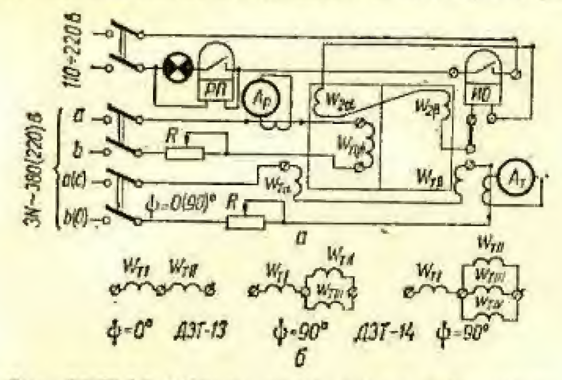


Рис. XVII.22. Полная схема (*а*) и схемы соединения тормозных обмоток реле ДЗТ-3, ДЗТ-4, ДЗТ-13, ДЗТ-14 (*б*), используемые при снятии тормозных характеристик реле.

замыкаемых через амперметр,— не менее 40% общего числа витков тормозной обмотки. Последнее достигается переключением амперметра A_1 рубильником P с зажима 2 на зажим 6 реле. Кроме того, длина соединительных проводов к амперметру должна быть минимальной при сечении проводов не менее 2,5 *мм²*. Амперметр A_2 к выводам тормозной обмотки следует подключать при помощи щупа. Разность полученных значений м. д. с. должна быть не более 1—2 *ав*.

9. Снятие тормозных характеристик $F_{ср} = f(F_т)$ (для реле типа ДЗТ). Тормозные характеристики снимают по схеме, приведенной на рис. XVII.22. Характеристики снимаются для двух случаев: а) при двух последовательно включенных тормозных обмотках и угле сдвига между тормозным и рабочим токами $\psi = 0$; б) при включении всех тормозных обмоток по схеме рис. XVII.22, *б* и $\psi = 90°$. Совпадение по фазе тормозного и рабочего токов достигается включением соответствующих цепей на одинаковое линейное напряжение, например U_{AB}. Угол сдвига 90° достигается включением цепи рабочей обмотки на линейное напряжение (*AB*), а цепи тормозной обмотки — на фазное напряжение третьей фазы (*CO*). Задаваясь рядом значений тормозного тока, для каждого из них определяют рабочий ток срабатывания реле. Для реле ДЗТ-11 точки характеристик снимаются при значениях тормозной м. д. с. $F_т = I_т \omega_т$, равных 0; 200; 400; 600; 800; 1000 *ав*, а для реле ДЗТ других типов — при значениях $F_т = 2I_т \omega_т$, равных 0; 300; 600; 900; 1200; 1500 *ав*. Полученные характеристики должны располагаться в пределах зоны разброса, гарантированной заводом для реле данного типа.

10. Выполнение расчетных уставок. На коммутаторе реле набираются расчетные числа витков первичных и тормозных обмоток НТТ для всех сторон защиты и устанавливается выбранная величина сопротивления $r_{к.з}$ в цепи короткозамкнутой обмотки. Повторно проверяют ток и м. д. с. срабатывания реле для каждой стороны защиты (для реле ДЗТ, когда нет торможения). Определяется коэффициент возврата реле по первичному току. Для реле ДЗТ при последовательном соединении рабочей и тормозной обмоток соответствующих сторон защиты определяются ток и м. д. с. срабатывания реле. Полученные значения тормозной и рабочей м. д. с. должны соответствовать точке, лежащей в начале верхней кривой тормозной характеристики. Затем к реле подводится увеличенное на 20% значение тока срабатывания, при этом происходит четкое замыкание контактов реле.

Испытание дифференциальной защиты под нагрузкой

При испытаниях дифференциальной защиты под нагрузкой желательно, чтобы нагрузка на присоединениях, входящих в схему дифференциальной защиты, была не менее 25% номинальной. Одним из методов, изложенных в гл. XI, снимаются векторные диаграммы токов всех плеч дифференциальной защиты, на основании которых определяется правильность выполнения токовых цепей защиты. Затем детекторным вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 100 *ом/в* измеряется напряжение небаланса на зажимах обмотки исполнительного органа каждого реле как при имитации короткого замыкания в зоне защиты, так и в нормальном режиме. Имитация короткого замыкания в зоне защиты осуществляется снятием рабочей крышки испытательного блока в токовых цепях одного из плеч защиты. При этом м. д. с. первичной обмотки реле, определенная по напряжению небаланса и вольтамперной характеристике, должна быть близка к м. д. с., обусловленной током отключенного от защиты присоединения. После имитации короткого замыкания в зоне защиты токовые цепи защиты восстанавливаются и измеряется напряжение небаланса при нормальном режиме работы. При токе нагрузки порядка 50% номинального напряжение небаланса должно быть не более 0,1 *в*. Отстройка реле от бросков намагничивающего тока проверяется многократным включением трансформатора под напряжение при холостом ходе. При этом во всех случаях включения реле не должны срабатывать. Изменение уставок на реле должно проводиться при выведенной из работы защите и закороченных токовых цепях, так как при вывинчивании штепсельных винтов на коммутаторе реле происходит размыкание токовых цепей трансформаторов тока.

Реле направления мощности

Основные технические данные реле направления мощности приведены в табл. XVII.12.

Номинальное напряжение реле 100 *в*, номинальный ток реле с индексом *1* составляет 5 *а*, с индексом *2* — 1 *а*. Цепи тока всех реле термически устойчивы до 1,1 $I_{ном}$. Цепи напряжения всех реле, кроме РБМ 178 и РБМ-278, термически устойчивы до 110 *в*. У реле РБМ-178 и РБМ-278 цепи напряжения допускают только кратковременную подачу напряжения. Время действия реле 0,04 *сек* при трехкратной мощности срабатывания реле.

Таблица XVII.12

Основные технические данные реле направления мощности

Тип реле	Угол максимальной чувствительности, *град*	Число нормально открытых контактов	Максимальная мощность срабатывания, *ва*: при $I_{ном}$	при $10I_{ном}$	Потребление, *ва*: цепи тока	цепи напряжения	Дополнительное сопротивление, *ом*: R_1	R_2	Емкость, *мкф*
РБМ-171/1	—30	1	3	15	10	40	35	—	—
РБМ-171/1	—45	1	4	20	10	35	35	100	—
РБМ-171/2	—30	1	0,6	3	10	40	35	—	—
РБМ-171/2	—45	1	0,8	4	10	35	35	100	—
РБМ-177/1	70	1	3	15	10	35	390	—	8
РБМ-177/2	70	1	0,6	3	10	35	390	—	8
РБМ-178/1	70	1	1	5	10	90	75	—	16
РБМ-178/2	70	1	0,2	1	10	90	75	—	16
РБМ-271/1	—30	2	3	15	10	40	35	—	—
РБМ-271/1	—45	2	4	20	10	35	35	100	—
РБМ-271/2	—30	2	0,6	3	10	40	35	—	—
РБМ-271/2	—45	2	0,8	4	10	35	35	100	—
РБМ-277/1	70	2	3	15	10	35	390	—	8
РБМ-277/2	70	2	0,6	3	10	35	390	—	8
РБМ-278/1	70	2	1	5	10	90	75	—	16
РБМ-278/2	70	2	0,2	1	10	90	75	—	16

Примечание. Потребление мощности цепей тока и напряжения дано при токе, равном 110% $I_{ном}$, и напряжении 110 *в*.

В программу проверки реле РБМ при новом включении входят: внешний осмотр, проверка механической части реле, испытание изоляции, проверка электрических характеристик реле.

Внешний осмотр и испытание изоляции выполняются в соответствии с приведенными выше общими указаниями по проверке реле.

Проверка механической части реле

Проверка механической части реле проводится в следующем объеме.

1. С помощью лупы и иглы проверяют состояние верхнего и нижнего подпятников и концов оси барабанчика. Если при этом обнаруживают шероховатости и трещины, то подпятник заменяют, а оси заполировывают. Вертикальный люфт подвижной системы должен составить 0,3—0,5 *мм*.

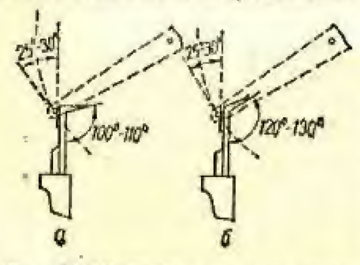


Рис. XVII.23. Регулировка контактов реле РБМ.

2. Проверяют легкость хода подвижной системы при полностью ослабленной пружине и при больших углах поворота подвижной системы (плата с неподвижными контактами и упорами снимается). Зазоры между барабанчиком и полюсами должны быть равномерными и иметь величину порядка 0,4—0,5 *мм*. Механическое состояние подвижной системы можно считать удовлетворительным, если при отклонении ее рукой примерно на 90° колебания подвижной системы прекратятся после 10 отклонений от среднего положения.

3. Проверяют контактную систему реле. Для этого неподвижные контакты устанавливают в соответствии с рис. XVII.23.

Ограничитель нижней контактной пластины должен иметь угол изгиба 100—110° (см. рис. XVII.23, *а*). Ограничитель верхней контактной пластины должен иметь угол изгиба 120—130° (рис. XVII.23, *б*). Нижняя контактная пластина, более жесткая, своим хвостовиком не должна касаться заднего ограничителя и должна перемещаться по нему при усилии на контакте 2—3 *г* (измерения производятся граммометром).

Передний упор нижней контактной пластины устанавливается так, чтобы он не касался контактной пластины (зазор 0,2—0,3 *мм*). Верхняя контактная пластина, более мягкая, хвостовиком не должна касаться заднего ограничителя (зазор 0,2—0,3 *мм*) и быть впереди нижней контактной пластины на 0,2—0,3 *мм*, чтобы штифт подвижного контакта при замыкании контактов касался сначала более мягкой верхней контактной пластины.

Верхняя контактная пластина должна касаться переднего упора, но не оказывать давления. Контактная колодка устанавливается так, чтобы угол встречи подвижных и неподвижных контактов составлял 25—30°. Касание контактов должно происходить на переднем крае контактной поверхности неподвижных контактов, и ход подвижных контактов на этой поверхности должен быть ограничен передним упором, чтобы не было заскакивания подвижного контакта за задний край неподвижного контакта.

Штифт подвижного контакта не должен подходить к заднему краю неподвижных контактов ближе 2 *мм*. Изменяя величину прогиба жесткой контактной пластины, получают «мягкую» или «жесткую» регулировку контактов. При мягкой регулировке прогиб жесткой контактной пластины должен быть порядка 1,5—2 *мм*, при жесткой регулировке — порядка 0,5 *мм*. Следует иметь в виду, что при мягкой регулировке контактов время возврата реле увеличивается до 0,025—0,03 *сек*. Расстояние между контактами регулируется задним упором подвижной системы и должно составлять 1—1,5 *мм*.

Лента токоподвода должна иметь правильную форму без надломов и вмятин. При полностью освобожденной пружине токоподвод не должен воздействовать на подвижную систему реле.

Моментная пружина должна иметь форму правильной спирали, лежащей в плоскости, перпендикулярной к оси подвижной системы реле, витки пружины не должны касаться друг друга.

Проверка и регулировка электрических характеристик

Проверка электрических характеристик проводится в следующем объеме.

1. Проверка потребления. Проверку выполняют по схеме, приведенной на рис. XVII.24 (на время проверки включают миллиамперметр и вольтметр, показанные на схеме пунктиром). В цепи напряжения потребление определяют при напряжении 100 *в*; в цепи тока — при номинальном токе реле. Полученные величины не должны отличаться от данных, приведенных в табл. XVII.12, более чем на 10—12% (следует иметь в виду, что в табл. XVII.12 приведены величины потребления при $1,1\ I_{ном}$ и напряжении 110 *в*).

2. Проверка и устранение самохода реле от тока и напряжения.

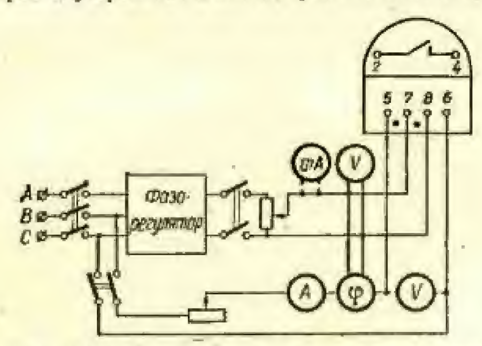


Рис. XVII.24. Схема для проверки реле направления мощности.

Самоход (появление вращающего момента любого знака при подаче на реле либо только тока, либо только напряжения) проверяют при полностью ослабленной пружине реле. Самоход по напряжению проверяют путем подачи на реле напряжения 0—110 *в* при разомкнутой токовой обмотке. По току самоход проверяют подачей тока, изменяющегося от нуля до расчетного значения вторичного тока короткого замыкания (кратковременно) при накоротко замкнутой обмотке напряжения.

Как правило, самоход устраняют поворотом вокруг своей оси стального сердечника, находящегося внутри барабанчика. Срез на сердечнике по образующей, повернутый соответствующим образом, может компенсировать несимметрию магнитного потока, являющуюся причиной самохода. В крайнем случае самоход может быть устранен или уменьшен путем незначительного сдвига полюсов магнитной системы, не имеющих катушек (системы напряжения).

Если полное устранение самохода невозможно, допускается оставление незначительного вращающего момента, вызывающего движение контактов на размыкание при рабочей затяжке пружины.

В реле типа РБМ-270 двустороннего действия самоход должен быть устранен полностью, так как оба направления движения контактной системы являются рабочими.

3. Проверка зоны действия, угла максимальной чувствительности и однополярных зажимов реле. Зону действия и угол максимальной чувствительности реле определяют по схеме, приведенной на рис. XVII.24.

К реле подводятся номинальные напряжение и ток. При подключении учитывают обозначения (звездочкой) начала обмоток тока и напряжения. С помощью фазорегулятора изменяют угол сдвига между током и напряжением от нуля до 360° и по фазометру отмечают углы, при которых происходит замыкание и размыкание контактов.

Рис. XVII.25. Угловые характеристики реле направления мощности:

а — реле типа РБМ-171, РБМ-271; *б* — реле типа РБМ-171, РБМ-271 с добавочным сопротивлением; *в* — реле типа РБМ-177, РБМ-178, РБМ-277, РБМ-278; *г* — реле типа РБМ 271; (*1—1* — линия изменения знака моментов; *2—2* — линия максимальных моментов; незаштрихованная часть окружности — зона действия реле на отключение, заштрихованная — зона действия реле на заклинивание, *ЗПК* и *ЗЛК* — соответственно замыкание правого и левого контактов).

Затем строят упрощенную угловую характеристику реле: на миллиметровую бумагу в масштабе наносят вектор напряжения реле $U_р$; проводят окружность с центром в начале координат радиусом, равным вектору напряжения реле; за линию отсчета углов принимают вектор напряжения (рис. XVII.25), отсчет углов ведут по часовой стрелке; на окружности транспортиром отмечают точки, соответствующие замыканию и размыканию контактов реле; через эти точки проводят линию (нулевых моментов), делящую окружность на две равные части, и отмечают зону действия реле (часть окружности, соответствующую замкнутому состоянию контактов); через центр окружности проводят линию, перпендикулярную проведенной выше, которая является линией максимальных моментов; с помощью транспортира определяют угол между вектором напряжения реле и линией максимальных моментов — угол максимальной чувствительности реле. Отклонение угла максимальной чувствительности от номинальных данных допускается в пределах до 5°.

Однополярные зажимы реле определяют на основании тщательной проверки соответствия собранной схемы схеме на рис. XVII.24 в части подключения фазометра и реле, а также анализа угловой характеристики. Если схема выполнена без отступлений и угол максимальной чувствительности близок к паспортному значению, однополярные зажимы обозначены правильно.

4. Проверка чувствительности реле. Чувствительность проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.24. Измерение выполняют при угле максимальной чувствительности и номинальном токе реле. Плавно повышая напряжение на обмотке напряжения реле, добиваются его срабатывания. Чувствительность реле, т. е. минимальная мощность срабатывания его, определяется по выражению

$$P_{ср} = U_{ср} I_{р.ном} \ (ва). \qquad \text{(XVII.6)}$$

где $U_{ср}$ — напряжение срабатывания реле; $I_{р.ном}$ — номинальный ток токовой обмотки реле.

Мощность срабатывания не должна превышать значений мощности срабатывания, приведенных в табл. XVII.12. Одновременно определяется коэффициент возврата реле, который должен быть не менее 0,9.

Если нет вольтметра на малые пределы измерения, можно измерять чувствительность при токе, равном 20—40% номинального. Чувствительность реле определяется углом затяжки возвратной пружины. Нормальная заводская затяжка пружины реле типа РБМ имеет угол около 120°. Для большинства схем релейной защиты угол затяжки пружины колеблется в пределах 90—180°. Для реле РБМ-270 чувствительность реле проверяется на замыкание левого и правого контактов отдельно. Значительные отклонения чувствительности реле указывают на механическую неисправность или на дефекты в регулировке реле. Если нет фазометра и фазорегулятора, проверку чувствительности можно выполнить не при угле максимальной чувствительности, а при углах, близких к нему (±30°). Мощность срабатывания реле при этом существенно не изменяется.

5. Проверка работы контактов реле. Работу контактов реле проверяют при подаче мощности срабатывания, а также при подаче и отключении обратной мощности. Схема проверки контактов реле при подаче мощности срабатывания приведена на рис. XVII.24, в случае необходимости из нее могут быть исключены фазорегулятор и фазометр.

Нагрузка контактов реле должна быть такой же, как и в схеме защиты. При подаче на реле толчком мощности от $1{,}2P_{ср}$ до $100P_{ср}$ контакты должны надежно замыкаться без искрения, вибрации и отбрасываний. Искрение контактов при отключении реле должно быть небольшим, не вызывающим подгорания. Не допускается залипание контактов реле на упоре.

Включение толчком проводится по три — пять раз при каждом значении мощности; ток доводится до $10I_{ном}$. Включать и отключать ток и напряжение следует одновременно.

Работу контактов реле при подаче и отключении обратной мощности проверяют, если отбрасывание контактов может вызвать ложное действие защиты. На реле подают обратную (размыкающую контакты) мощность, равную $10P_{ср}$, $30P_{ср}$ и $100P_{ср}$, и сбрасывают ее резким одновременным снятием тока и напряжения. При этом не должно быть сильного отбрасывания подвижной системы от упора и замыкания контактов. Если устранить замыкание контактов реле направления мощности при сбросе обратной мощности не удается, следует загрубить или заблокировать последующие реле в схеме защиты.

В некоторых случаях необходимо измерить время действия реле. Это можно осуществить миллисекундомером при нескольких значениях мощности, подводимой к реле (до $50—100P_{ср}$).

Проверка правильности включения реле направления мощности под нагрузкой

При проверке защиты от многофазных коротких замыканий (см. в гл. XI) снимаются векторные диаграммы токов и напряжений, подаваемых на реле, на основании векторных диаграмм определяется правильность выполнения цепей защиты. При снятии векторной диаграммы направление активной и реактивной мощности в первичных цепях должно быть точно определено с помощью заведомо правильно включенных

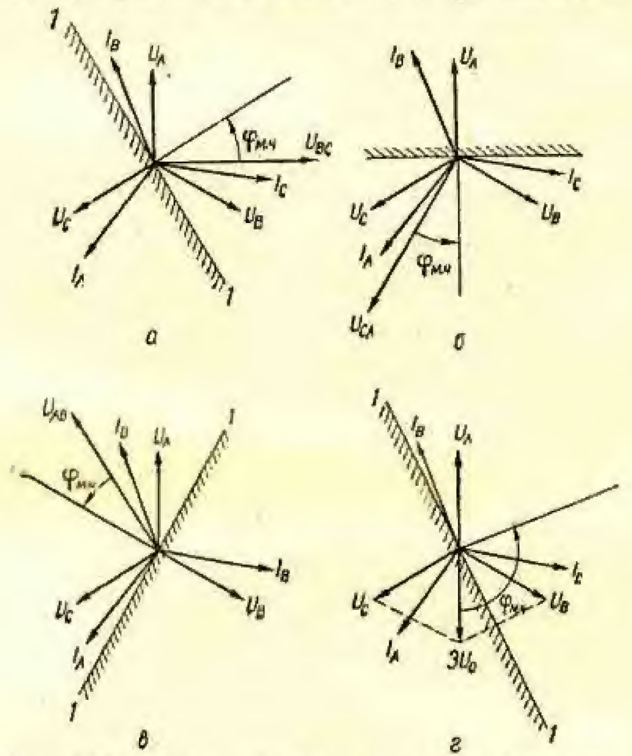


Рис. XVII.26. Зоны работы реле на векторной диаграмме первичных токов и напряжений:

а — для фазы А; б — для фазы В; в — для фазы С; г — для тока $3I_0$ при однофазном коротком замыкании на фазе А.

приборов или созданием режимов работы, при которых направление мощности однозначно.

На полученной векторной диаграмме строятся линии изменения знака вращающего момента и определяются зоны работы и заклинивания реле. На рис. XVII.26 в качестве примера приведена векторная диаграмма токов и напряжений. На векторной диаграмме нанесены линии изменения знака вращающего момента для реле фаз A, B, C, включенных по 90-градусной схеме и имеющих угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч} = 30°$. Реле всех фаз должны четко заклинивать, так как токи, протекающие в них, расположены в зоне заклинивания реле. Реле фазы A при подаче на него тока фазы C должно сработать. Соответственно реле направления мощности фазы B должно сработать от тока фазы A, реле фазы C — от тока фазы B.

Реле считается включенным правильно, если направление момента реле (на срабатывание или заклинивание) соответствует расположению вектора тока, проходящего через токовую обмотку реле, на совмещенной векторной диаграмме и зоне действия реле.

Если вектор тока, подведенного к реле, располагается вблизи линии изменения знака момента и момент на реле очень мал, для проверки действия реле в его обмотку подают ток другой фазы и по поведению реле и векторной диаграмме определяют правильность его работы.

Правильность действия реле направления мощности защит от замыканий на землю проверяется имитацией условий, возникающих при замыкании одной из фаз линии на землю. Для имитации однофазного короткого замыкания на землю к реле подводится ток поврежденной фазы и напряжение нулевой последовательности, равное $3U_0$, т. е. сумме напряжений неповрежденных фаз.

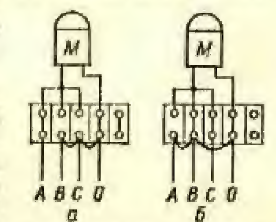


Рис. XVII.27. Схемы переключения токовых цепей для имитации однофазного короткого замыкания.

Напряжение, равное $3U_0$, может быть подано на реле с помощью дополнительного вывода (испытательной жилы) от вторичной обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник. Для оценки правильности действия реле снимается векторная диаграмма токов и напряжений, подводимых к обмоткам реле (методика определения положения вектора $3U_0$ приведена в гл. XI).

Как и при испытании направленных защит от многофазных повреждений, при снятии векторной диаграммы должно быть точно известно направление активной и реактивной мощности в первичных цепях.

На векторной диаграмме строится линия изменения знака момента реле. На рис. XVII.26 показана линия изменения знака момента реле, имеющего угол максимальной чувствительности 110° и включенного на сумму напряжений $U_B + U_C = 3U_0$. Из рис. XVII.26, г следует, что при правильном включении реле его контакты должны замыкаться при подаче тока фазы C и заклинивать при подаче тока фазы A. Схемы переключения токовых цепей на входе панели для имитации однофазного короткого замыкания приведены на рис. XVII.27. После того как установлена правильность включения реле направления мощности и восстановлены цепи тока и напряжения, следует измерить ток небаланса в нулевом проводе и напряжение небаланса на обмотке напряжения реле направления мощности.

Проверка правильности включения реле направления мощности поперечных дифференциальных направленных защит аналогична рассмотренной выше проверке направленных защит от многофазных замыканий и однофазных замыканий на землю. Различие заключается в том, что векторная диаграмма строится для комплекта трансформаторов тока каждой линии. При правильном выполнении токовых цепей геометрическая сумма векторов токов одноименных фаз обеих линий равна нулю (при равномерной нагрузке между линиями). На совместную векторную диаграмму наносятся зоны работы реле направления мощности и оценивается правильность отклонения контактной системы реле при

имитации повреждения на каждой из линий. Имитация осуществляется поочередным закорачиванием и исключением из схемы трансформаторов тока каждой из линий. На рис. XVII.28, *а* в качестве примера приведена векторная диаграмма и зоны действия реле тока РБМ-271 фазы *A*, включенного по 90-градусной схеме (на напряжение U_{BC}). При направлении активной и реактивной мощности от шин подстанции в линию и исключении из схемы трансформаторов тока линии II (имитация повреждения на линии I) реле должно под действием тока I_{A1} линии I замкнуть контакты на отключение линии I; при исключении трансформаторов тока линии I реле под действием тока I_{A2} линии II должно замкнуть контакты на отключение линии II. Проверка проводится пофазно

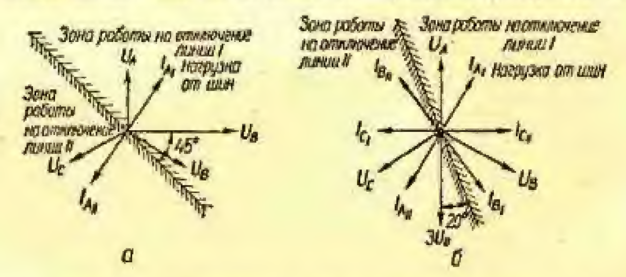


Рис. XVII.28. Диаграмма проверки рабочим током правильности включения реле направления мощности поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

для каждого реле. Правильность включения реле направления мощности двустороннего действия типа РБМ-278 комплекта защиты от замыканий на землю проверяется так же, как и для направленных защит от однофазных замыканий, но учитываются особенности проверки поперечных дифференциальных защит. На рис. XVII.28, *б* приведена векторная диаграмма и зоны действия реле типа РБМ-278. Из рисунка следует, что при направлении активной и реактивной мощностей от шин подстанции в линию при закороченных трансформаторах тока линии II и при подаче тока фазы *A* линии I (I_{A1}) реле замкнет контакты на отключение линии I; при подаче тока фазы *B* (I_{B1}) в реле будет слабый момент на отключение линии I и при подаче тока фазы *C* (I_{C1}) замкнутся контакты реле на отключение линии II. Аналогично проверяется действие реле при закорачивании трансформаторов тока линии I. После проверки правильности включения реле и восстановления цепей тока и напряжения измеряются токи небаланса в дифференциальных цепях (в фазных и нулевом проводах) и напряжение небаланса на обмотке напряжения реле РБМ-278.

Реле сопротивления

Реле сопротивления используются в качестве пусковых и дистанционных органов в схемах релейной защиты. Рассмотрим наладку реле сопротивления на примере реле типа КРС-131. Схема внутренних соединений реле типа КРС-131 приведена на рис. XVII.29.

Направленное реле сопротивления типа КРС-131 используется в качестве дистанционного органа в схемах релейной защиты и действует при многофазных коротких замыканиях. Реле состоит из исполнительного органа (индукционного реле), трансформаторов и других вспомогательных элементов. Оно содержит резонансные колебательные контуры, имеющие частоту собственных колебаний, близкую 50 *гц*, предотвращающие кратковременное ложное срабатывание реле в неустановившихся режимах (особенно при малых значениях токов и напряжения).

Один из резонансных контуров обеспечивает также кратковременное действие реле при близких трехфазных коротких замыканиях, когда напряжение практически снижается до нуля (короткое замыкание в «мертвой зоне»).

Полное устранение «мертвой зоны» при близких двухфазных коротких замыканиях и возможной потере направленности под действием напряжения между поврежденной и неповрежденной фазами достигается подключением напряжения неповрежденной фазы к обмотке реле через сопротивление R_6. Это сопротивление создает подпитку обмотки реле током, практически совпадающим по фазе с основным током поляризующей цепи. Схема реле позволяет автоматически менять уставку срабатывания переключением в цепи напряжения (в схемах двуступенчатых дистанционных защит это переключение осуществляют без бестоковой паузы). Реле включается на токи двух фаз и соответствующее линейное напряжение. Характеристика реле на комплексной плоскости приведена на рис. XVII.30. Реле срабатывает при сопротивлении на зажимах реле, меньшем заданного характеристикой реле. Под сопротивлением на зажимах реле подразумевается

Рис. XVII.29. Схема внутренних соединений реле сопротивления типа КРС-131.

$$\frac{U_{pab}}{I_{pa}-I_{pb}}, \qquad \text{(XVII.7)}$$

где U_{pab} — напряжение на зажимах реле; I_{pa} и I_{pb} — токи в реле соответственно фаз *a* и *b*.

Угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$ (между диаметром характеристической окружности, проходящей через начало координат R, x и осью R) составляет $65 \pm 4°$ или $75 \pm 3°$. Реле выпускаются на номинальные токи 5 и 1 *а* и напряжение 100 *в* переменного тока. Реле длительно выдерживает $1,1 I_н$ и $1,1 U_н$. Потребление не превышает 7 *ва* на фазу для токовых цепей и 25 *ва* на фазу для цепей напряжения. Разрывная мощность контактов при напряжении до 220 *в* и токе до 1,5 *а* составляет 30 *вт* в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой.

Рис. XVII.30. Характеристика реле КРС-131 (φ — угол максимальной чувствительности).

Наладка направленного сопротивления КРС-131 выполняется в следующем объеме:

а) внешний осмотр реле, измерение сопротивления и испытание электрической прочности изоляции (проводится в соответствии с общими указаниями по проверке реле);

б) проверка трансформаторов тока (трансреакторов);

в) проверка трансформаторов напряжения;

г) проверка сопротивлений элементов контуров обмоток реле;

д) механическая и электрическая проверка исполнительного органа;

е) проверка сопротивлений срабатывания реле;

ж) проверка угла максимальной чувствительности;

з) проверка поведения реле при внешних коротких замыканиях;

и) проверка реле рабочим током и напряжением.

Проверка трансформаторов тока (трансреакторов)

Проверка проводится в следующем объеме.

а) Проверка и регулировка величины вторичной э. д. с. при номинальном токе в первичных обмотках.

Отключается нагрузочное сопротивление R_2. Измеряется вторичная э. д. с. при протекании номинального тока через последовательно включенные первичные обмотки. Величина вторичной э. д. с. должна быть равной 25 ± 1 *в*. Измеряется вторичная э. д. с. при тех же условиях с подключенным нагрузочным сопротивлением R_2. Величина э. д. с. должна быть в пределах $20 \pm 1,5$ *в*.

б) Проверка правильности выполнения отпаек в первичных обмотках.

Проверку ведут по величине вторичной э. д. с. при подаче в первичную обмотку номинального тока с постепенным изменением числа первичных витков путем одновременной перестановки штеккеров обеих обмоток на регулировочной панели.

Отношение вторичных напряжений должно быть 8 : 4 : 2 : 1. Во избежание значительных погрешностей напряжения следует измерять вольтметром с сопротивлением не менее 1000 *ом* на 1 *в*.

Проверка трансформаторов напряжения

Проверка проводится в следующем объеме.

а. Определение сопротивления холостого хода для выявления короткозамкнутых витков. Измерение производится методом амперметра-вольтметра при напряжении 100 *в*.

б. Проверка правильности выполнения отпаек.

На главную обмотку подают напряжение 100 *в*, а на зажимы вторичных обмоток включают вольтметр и, переставляя штеккеры в гнездах регулировочной панели, измеряют вторичное напряжение.

Если ответвления обмотки автотрансформатора выполнены правильно, напряжения, измеренные вольтметром, соответствуют сумме цифр против каждого из трех регулировочных штеккеров. Так, если штеккеры установлены в положениях 10,8 и 0,5, то вольтметр должен показывать 18,5 *в*.

Сопротивление вольтметра при измерениях должно быть не менее 1000 *ом* на 1 *в*, в противном случае погрешность измерения может внести существенные искажения.

При проверке ответвлений дополнительной обмотки автотрансформатора одновременно с проверкой правильности выполнения ответвлений устанавливается согласованность полярностей главной и вспомогательной обмоток.

Проверка сопротивлений элементов контуров обмоток реле

Сопротивление измеряют методом амперметра-вольтметра. Конденсаторы, входящие в контуры реле сопротивления, проверяют, кроме того, на пробой и на сохранение заряда. Конденсатор цепи поляризующей обмотки проверяют мегомметром, цепи рабочей обмотки — постоянным напряжением 220—110 *в*.

Таблица XVII.13

Величины сопротивлений элементов схемы реле сопротивления КРС-131

Наименование измеряемого элемента	Обозначение на схеме	Средние значения сопротивлений, *ом*
Рабочая обмотка реле	$PC_п$	200
Поляризующая обмотка реле	$PC_я$	1200
Дроссель	$Д$	2000
Конденсатор	C_1	200
»	C_2	3200
Сопротивление	R_1, R_3, R_4	100
»	R_2	30
»	R_6	$39 \cdot 10^3$

Средние расчетные величины сопротивлений элементов контуров приведены в табл. XVII.13. Отклонения измеренных величин от указанных в таблице должны быть не более 10%.

Механическая и электрическая проверка исполнительного органа

В механическую и электрическую проверку реле входят:

а) проверка отсутствия затираний, правильности балансировки подвижной системы, отсутствия касания отдельных витков токоподводящей пружины, величины люфтов в осях;

б) регулировка контактной системы, спирального токоподвода и упоров подвижной системы;

в) проверка величин наведенных э. д. с. в каждой из обмоток при питании другой обмотки, регулировка реле с целью уменьшения наведенных э. д. с.;

г) проверка и устранение самохода от тока в рабочей обмотке.

Чтобы проверить, нет ли затираний, отпускают возвратную пружину реле до такого положения, в котором она не создает момента на оси и подвижная система устанавливается посредине между упорами. Упоры при этом раздвигают так, чтобы при повороте от упора до упора контактная система перемещалась на 8—10 *мм*.

Подвижную систему отклоняют до крайнего положения легким нажатием на контактный рычаг и отпускают ее. Если затираний нет, подвижная система должна вернуться в среднее положение, совершив предварительно несколько колебаний с затухающей амплитудой. После этого поочередно подают питание в обмотки реле и повторно проверяют, нет ли затираний. Это необходимо, так как если в воздушном зазоре есть опилки, то после создания магнитного поля они могут переместиться и вызвать затирание.

Если затирания обнаруживаются, следует прежде всего определить их причину. Чаще всего это повреждение подпятников или концов осей, посторонние тела в рабочем воздушном зазоре, заусенцы на магнитопроводе или роторе, касание отдельных витков возвратной пружины.

Концы осей и подпятники тщательно осматриваются через лупу с десятикратным увеличением. Если обнаруживаются трещины и царапины в подпятниках, их заменяют целиком или отдельные камни в них, при царапинах на концах осей последние следует тщательно отполировать.

Спиральную токоподводящую пружину тщательно осматривают и при обнаружении касания витков осторожно правят при помощи двух пинцетов. Для проверки, нет ли в зазоре посторонних тел и заусенцев, между ротором и полюсами пропускают ленты бумаги, целлулоида и других материалов, после чего повторно проверяют затирание. Если есть подозрение на затирание внутри ротора, вынимают и осматривают его, тщательно осматривают зазор, протирают ротор и зазор замшей, тонкой кожей или каким-либо другим материалом, не оставляющим волосков. Снова вставляют ротор и повторно проверяют, нет ли затираний.

Балансировка подвижной системы реле преследует две цели: уменьшить зависимость характеристик реле от наклона его оси относительно вертикали (статическая балансировка) и уменьшить влияние внешних толчков и вибраций на работу реле (динамическая балансировка).

Для проверки балансировки отпускают пружину и ставят контактный рычаг в среднее положение между контактами.

Затем, сняв реле с панели, медленно наклоняют его поочередно во все четыре стороны и следят, чтобы контактный рычаг при этом оставался посредине между контактами. Вначале наклоняют ось реле вправо или влево, проверяя сбалансированность передней и задней частей

подвижной системы. Если нужно, то облегчают или утяжеляют противовес контактного рычага. Затем проверяют сбалансированность правой и левой частей подвижной системы, наклоняя оси реле вперед и назад.

В случае, если при этом будут замечены отклонения контактного рычага от среднего положения, противовес смещают немного вправо или влево или несколько изгибают контактный рычаг. Вновь проверяют балансировку, наклоняя ось реле в различные стороны.

Люфты в подпятниках оси подвижной системы реле проверяются в основном на слух. При покачивании оси пинцетом в стороны, вверх и вниз перемещения подвижной системы должны быть незаметны невооруженным глазом, но должны быть слышны удары концов оси о камни подпятников. Это соответствует величине люфтов порядка 0,1—0,2 *мм*, т. е. условиям минимального трения в осях.

Далее регулируют контактную систему реле.

Контакты и спиральный токоподвод рекомендуется регулировать следующим образом:

а. Правильно устанавливают контактные пластины в колодочке.

Нижнюю пластину, более жесткую, устанавливают так, чтобы в нормальном режиме она не упиралась в передний упор, находящийся от нее на расстоянии 0,2—0,3 *мм*. Ее хвостовик должен прикасаться к задней ограничительной пластине, установленной примерно под углом 100—110° к контактным пластинам, и создавать значительное трение при нажатии на контактную пластину. Сила нажатия на контакты, необходимая для перемещения хвостовика по ограничительной пластине, должна быть порядка 2—3 *г*.

Верхнюю пластину, имеющую незначительную упругость, устанавливают так, чтобы она прикасалась к переднему упору, но практически не имела предварительного нажатия на упор. Расстояние от хвостовика ее до ограничительной пластины — 0,2—0,3 *мм*. Ограничительная пластина должна быть расположена по отношению к контактной пластине под углом 120—130°.

Контактная пластина должна прогибаться до упорной пластины от самого незначительного усилия. Касание хвостовиком упорной пластины в нормальном режиме сильно ухудшает работу контактной системы при малых величинах момента на реле.

Мягкая контактная пластина в нормальном режиме должна несколько выступать над жесткой (на 0,2—0,3 *мм*), чтобы при работе реле подвижный штифт касался вначале мягкой пластины, а затем жесткой.

б. Осуществляют правильную установку контактной колодочки.

Колодочка устанавливается так, чтобы угол встречи подвижных и неподвижных контактов при работе реле был порядка 25°.

Углом встречи контакта обычно называют угол, образуемый в точке соприкосновения касательной с траекторией подвижных контактов и рабочей поверхностью неподвижных контактов.

Касание контактов должно происходить вблизи переднего края неподвижной контактной пластины. Скольжение подвижного контакта по неподвижному необходимо ограничить во избежание заскока подвижного контакта за конец неподвижной контактной пластины. Это осуществляется установкой упора подвижной системы. При самом большом моменте на реле контактный штифт не должен подходить к концам контактных пластин ближе чем на 2—3 *мм*.

в. Устанавливают упор, ограничивающий перемещение подвижной системы реле после замыкания его контактов.

Упор должен быть установлен так, чтобы максимальный прогиб жесткой контактной пластины был порядка 0,5 *мм*. Проверку

осуществляют путем нажатия на рычаг подвижной системы против упора до плотного соприкосновения с последним. Прогиб контактной пластины определяют на глаз, так как данная регулировка особой точности не требует.

г. Устанавливают упор, определяющий положение подвижной системы до срабатывания. Упор должен создавать зазор между подвижными и неподвижными контактами порядка 1 *мм*. При описанной выше установке колодочки это обусловливает ход подвижных контактов до их замыкания с неподвижными, близкий 2 *мм*.

д. Закручивают спиральный токоподвод на угол 5—8° относительно нейтрального положения, отпуская, а затем зажимая крепежное кольцо. Проверяют надежность возврата подвижной системы реле при повороте ее вручную до замыкания контактов.

е. Проверяют, нет ли механического затирания в контактной системе. Для этого на реле подают действующий момент, достаточный для срабатывания, а затем медленно снижают момент до нуля. Если нужно, шлифуют контакты.

После регулировки контактов, токоподвода и упоров проверяют симметричность магнитной системы реле и идентичность обмоток. Работа проводится в следующем порядке:

а. Подают питание в поляризующую обмотку реле и проверяют величину э. д. с., наводимой в рабочей обмотке. При 200 *в* на поляризующей обмотке напряжение, наведенное в рабочей обмотке, не должно превышать 0,2 *в*.

Наведение э. д. с. происходит в основном вследствие несимметрии магнитной системы, неидентичности отдельных катушек в обмотках и вследствие неоднородности и неодинаковой толщины стенок цилиндрического ротора и неодинакового расположения катушек на магнитопроводе.

Идентичность катушек проверяют, сравнивая падение напряжения на отдельных катушках. Особо важное значение имеет идентичность катушек, расположенных на противоположных сторонах магнитопровода друг против друга.

Расхождение падения напряжений на этих катушках не должно превышать 0,2 *в*.

Для проверки симметрии магнитной системы отпускают контргайку сердечника реле и, медленно поворачивая сердечник, наблюдают изменение э. д. с., наведенной в рабочей обмотке при напряжении 200 *в* на поляризующей обмотке. Установив сердечник в положение, соответствующее минимальной э. д. с., затягивают контргайку сердечника.

б. Включают на поляризующую обмотку вольтметр, а на рабочую обмотку подают напряжение 50 *в*; э. д. с., наводимая в поляризующей обмотке, не должна превышать 0,5 *в*.

В случаях, когда наведенная э. д. с., определенная выше при питании поляризующей обмотки, не превышает 0,2 *в*, второе требование, как правило, выполняется.

Самоход от тока в направленных реле сопротивления проверяют при подаче питания в рабочую обмотку и закороченных цепях напряжения. Самоход по напряжению у этих реле не играет существенной роли. При проверке самохода от тока питание в рабочую обмотку подают путем пропускания тока по первичным обмоткам трансформаторов тока. В сторону замыкания контактов самохода быть не должно при токах до 30 *а* (при включении всех витков первичной обмотки трансреакторов).

В случае обнаружения самохода его следует устранить. Наиболее простым способом является поворот сердечника реле на некоторый угол

от установленного ранее ориентировочного положения. Однако этим способом далеко не всегда удается полностью устранить самоход.

Можно устранить самоход, переместив отдельные катушки вдоль магнитопровода, тем самым изменив их потоки рассеяния.

В тех случаях, когда не удается полностью устранить самоход, применяют третий способ. С оси реле снимают контактную систему со спиральным токоподводом и упорный рычаг (если в данной модификации реле он имеется).

В случаях, когда контактный рычаг при отпущенных контргайках создает малое трение, снимать его необязательно, достаточно отвинтить винты.

В рабочую обмотку дают ток и следят за поведением ротора. При этом в большинстве случаев наблюдается поворот ротора вследствие самохода на некоторый угол, после чего ротор останавливается, самоход ликвидируется. Определив положение ротора, при котором нет самохода, вновь укрепляют на оси реле при найденном положении ротора контактную систему с токоподводом и упорный рычаг.

Этим заканчивается предварительная регулировка элементов схемы направленного реле сопротивления.

Проверка сопротивлений срабатывания

Уставку реле регулируют с помощью штеккеров, включающих ответвления обмоток трансформатора тока T_x и трансформатора напряжения $T_н$. Гнезда ответвлений трансформаторов T_x и $T_н$ маркированы числами, которые обозначим соответственно z_0 и n (под n понимаем сумму чисел, маркирующих используемые ответвления обмоток трансформатора $T_н$). Значения z_0 для обеих обмоток T_x должны быть одинаковыми,

$$n = \frac{100}{N}, \quad \text{(XVII.8)}$$

где N — отношение числа первичных витков трансформатора напряжения к числу включенных вторичных витков.

Уставка реле равна

$$z_{уст} = z_0 N. \quad \text{(XVII.9)}$$

Погрешность реле не более 10% уставки гарантируется только на определенных диапазонах токов в реле, зависящих от выбранных значений z_0 и n (токи в реле, при которых погрешность реле ниже 10% при $n = 100$, определяются из протокола заводских испытаний или заводских информаций). Для других значений n нижний предел диапазона токов точной работы $I_{точн}$ определяется из выражения

$$I_{точн} \leqslant I_{0точн} \frac{\sqrt{n}}{10}, \quad \text{(XVII.10)}$$

где $I_{0точн}$ — ток точной работы при $n = 100$.

При трехфазных коротких замыканиях в «мертвой зоне» реле работает надежно, если ток короткого замыкания не менее чем в два раза превышает ток точной работы.

Сопротивление срабатывания проверяют по схеме, аналогичной схеме снятия характеристик реле направления мощности (см. рис. XVII.24). По схеме, имитирующей двухфазное короткое замыкание, к реле подводят ток величиной порядка $2I_н$ и, снижая

напряжение, определяют сопротивление срабатывания при угле между током и напряжением, равном углу максимальной чувствительности

$$z_{ср} = \frac{U_{ср}}{2I_р} \ [ом], \qquad (XVII.11)$$

где $U_{ср}$ — напряжение срабатывания реле; $I_р$ — ток в реле.

Цифра 2 в знаменателе обусловлена протеканием тока по обеим обмоткам трансформаторов тока при имитации двухфазного короткого замыкания ($I_{рa} = -I_{рb}$).

Проверка угла максимальной чувствительности

Угол максимальной чувствительности проверяют в той же схеме, что и сопротивление срабатывания. В реле подают ток и напряжение, равное 70—80% напряжения срабатывания. Изменяя фазу напряжения в обе стороны, по фазометру определяют углы, при которых реле срабатывает. Полусумма этих углов дает угол максимальной чувствительности реле.

Если угол максимальной чувствительности значительно отклоняется от номинального значения, для регулировки изменяют нагрузочное сопротивление трансформаторов тока.

Проверка поведения реле при внешних коротких замыканиях

Для проверки сохранения направленности реле при близких коротких замыканиях вне зоны проверяют работу реле в двух режимах:

а) при двухфазных коротких замыканиях на шинах подстанции в месте установки защиты в режиме двустороннего питания линии;

б) при трехфазных коротких замыканиях на шинах подстанции в тупиковом режиме и в режиме двустороннего питания.

Имитация двухфазного короткого замыкания на шинах подстанции в режиме двустороннего питания линии осуществляется скачкообразным снижением напряжения между фазами, на которые включено реле, от 100 *в* до нуля с одновременной подачей в соответствующие фазы токов, сдвинутых по отношению к напряжению на 240°. Величина тока короткого замыкания берется равной 10—20 *а*.

Данная проверка имеет целью контроль совпадения фаз основного тока в поляризующих обмотках направленных реле сопротивления и тока подпитки от напряжения третьей фазы.

При проверке у реле не должно наблюдаться тенденции к замыканию контактов.

Имитация трехфазных коротких замыканий на шинах подстанции в тупиковом режиме работы линии осуществляется путем скачкообразного снижения напряжения на всех трех фазах от 100 *в* до нуля без подачи тока в цепи защиты.

Эта проверка предназначена для выявления влияния переходных процессов в момент короткого замыкания на работу реле в наиболее тяжелом режиме (когда момент на реле в установившемся режиме равен нулю).

При проверке не должно наблюдаться никакого перемещения подвижной системы в сторону замыкания контактов.

Имитация трехфазных коротких замыканий при двустороннем питании делается для выявления самоходов в реле. Тенденция к замыканию контактов свидетельствует о том, что самоход есть.

Проверка реле рабочим током и напряжением

При проверке снимают векторную диаграмму токов и напряжений, подводимых к реле (см. гл. XI); при снятии векторной диаграммы должно быть точно известно направление передаваемой по линии мощности. Проверяется правильность сочетаний фаз токов и напряжений, подводимых к реле, путем проверки поведения реле сопротивления в режиме реле направления мощности. Для этого перемычка с зажимов *8—10* реле снимается и устанавливается временная перемычка между зажимами реле *10—12*. При направлении мощности от шин в линию контакты реле замыкаются, при обратном направлении мощности контакты разомкнуты.

Фильтры-реле тока и напряжения обратной последовательности

Методика наладки фильтров-реле тока и напряжения обратной последовательности рассматривается на примере реле типов РТ-2 и РНФ-1М.

Наладка фильтров-реле тока обратной последовательности типа РТ-2 (рис. XVII. 31)

Реле состоит из активно-индуктивного фильтра тока обратной последовательности фаз *ФТОП*, двух исполнительных реле P_1 и P_2 разной чувствительности серии ЭТ-520, обмотки которых включены последовательно на выходные зажимы фильтра и трансформатора компенсации *ТК* для исключения влияния токов нулевой последовательности.

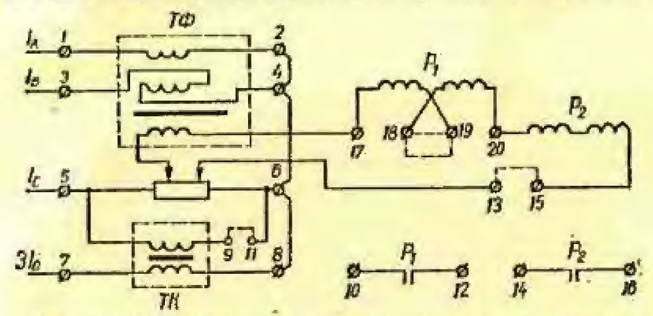


Рис. XVII.31. Схема внутренних соединений фильтра-реле типа РТ-2.

Реле P_1 и P_2 срабатывают, когда во входном токе фильтра появляется симметричная составляющая обратной последовательности, превышающая уставки этих реле.

Ток небаланса на выходе фильтра имеет минимальное значение при соблюдении условия

$$R = \sqrt{3}X_м. \qquad (XVII.12)$$

где $X_м$ — величина сопротивления взаимоиндукции между каждой из первичных обмоток трансформатора *ТФ* и его вторичной обмоткой. Величина $X_м$, определяемая как отношение э. д. с. вторичной обмотки к току в первичной обмотке, изменяется положением шунта в воздушном зазоре трансформатора *ТФ*.

При проверке исправности механической части фильтра особое внимание обращается на надежную стяжку пакетов стали и закрепление шунта трансформатора *ТФ*. Недостаточно надежная стяжка пакетов стали и крепления шунта при больших величинах токов короткого замыкания может привести к расстройке фильтра из-за самопроизвольного изменения величины взаимоиндукции между обмотками трансформатора *ТФ*.

Проверка электрических характеристик реле начинается с настройки фильтра. Настройка фильтра оценивается по идентичности его работы при имитации всех видов двухфазных и однофазных замыканий. При имитации каждого вида короткого замыкания измеряется величина тока на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле (обычно более чувствительного). Фильтр считается настроенным, если при имитации каждого вида короткого замыкания отклонения величины тока срабатывания не превышают 2—3% среднего значения и отношение средних значений тока срабатывания при имитации однофазных коротких замыканий к токам срабатывания при имитации двухфазных коротких замыканий близко к $\sqrt{3}$. При больших отклонениях проводится настройка фильтра. Для этого необходимо: 1) измерить величину сопротивления *R*, которая должна составлять 0,6 *ом* для реле с номинальным током 5 *а* и 15 *ом* для реле с номинальным током 1 *а*; 2) измерить величину сопротивления взаимоиндукции $X_м$ обмоток трансформатора *ТФ*. Измерение проводится на вторичной обмотке вольтметром с малым потреблением при прохождении тока, равного $1-2I_н$, по одной из первичных обмоток. Величина $X_м$ подсчитывается по формуле

$$X_м = \frac{U}{I}\ [ом]. \qquad (XVII.13)$$

При необходимости величина $X_м$ регулируется перемещением шунта в воздушном зазоре (при выдвижении шунта из воздушного зазора $X_м$ уменьшается, и наоборот). При проверке трансформатор *ТФ* работает в режиме холостого хода; 3) измерить величину коэффициента трансформации трансформатора *ТК*.

Регулирование заданных уставок по токам обратной последовательности производится при имитации двухфазного короткого замыкания между любыми фазами и измерении токов на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле. Фазный ток обратной последовательности срабатывания реле определяется как

$$I_{2ф} = \frac{I_{ср}}{\sqrt{3}}\ [а]. \qquad (XVII.14)$$

После срабатывания чувствительного реле P_2 его магнитная система насыщается и к моменту срабатывания реле P_1 сопротивление его обмоток уменьшается. Снижение общего сопротивления нагрузки фильтра приводит к потере линейной зависимости между током на входе фильтра и током, проходящим по обмоткам исполнительных реле. Вибрация исполнительных реле проверяется при подаче на вход фильтра токов от $1{,}05\,I_{ср}$ до $I_{к.з.\,макс}$. Для проверки правильности включения фильтра-реле измеряют вторичные токи нагрузки в фазах и нулевом проводе и снимают векторную диаграмму (гл. XI).

Заключительная проверка настройки фильтра и правильности включения фильтра-реле под нагрузкой осуществляется измерением тока небаланса на выходе фильтра при помощи миллиамперметра с малым сопротивлением, включаемого последовательно с исполнительными реле. Ток небаланса при номинальных симметричных токах на входе фильтра не должен превышать 140 *ма* для реле с номинальным током 5 *а* и 28 *ма* для реле с номинальным током 1 *а*.

При подведении к фильтру-реле токов обратной последовательности, что достигается перекрещиванием любых двух фаз тока, измеряется ток в исполнительных реле. После восстановления цепей тока повторно измеряется ток небаланса фильтра.

Наладка фильтров-реле напряжения типа РНФ-1М (рис. XVII. 32)

Фильтр-реле содержит активно-емкостный фильтр обратной последовательности и исполнительный орган (реле РН-50), включенный на выход фильтра.

При проверке исправности механической части фильтра особое внимание обращается на состояние контактной системы регулируемых сопротивлений.

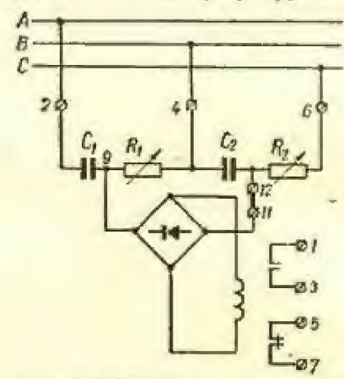


Рис. XVII.32. Схема соединений фильтра-реле типа РНФ-1М.

Настройку фильтра проверяют имитацией двухфазных коротких замыканий различных фаз по схемам, приведенным на рис. XVII.33. Фильтр напряжения считается настроенным, если напряжение на выходе фильтра при имитации всех видов двухфазных коротких замыканий отличается от среднего значения не более чем на 2—3%. Вместо измерения напряжения на выходе фильтра можно измерять напряжение на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле. При больших отклонениях фильтр регулируют. Для этого при отсоединенной нагрузке по схеме, приведенной на рис. XVII.33, *в* на вход фильтра подают напряжение 100 *в*. Вольтметром с сопротивлением не менее 1000 *ом* на 1 *в* измеряют напряжение на всех элементах фильтра и на выходных зажимах. В каждом из плеч напряжения должны быть 86,5 и 50 *в*, т. е. отношение напряжений на элементах каждого плеча должно быть равно $\sqrt{3}$, а напряжения на выходе — $\frac{\sqrt{3}}{2}U_{вх}$, т. е. 86,5 *в*. Изменением величины регулируемых сопротивлений добиваются указанного распределения напряжений с точностью до 1%.

Регулирование заданной уставки по напряжению обратной последовательности производится при имитации двухфазного короткого замыкания между любыми фазами. Изменяя напряжение на входе фильтра от нуля до срабатывания исполнительного реле измеряют напряжение срабатывания реле $U_{ср}$. Напряжение срабатывания реле (линейное)

обратной последовательности определяется как

$$U_{2лин} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3}} \ [в]. \qquad (XVII.15)$$

Уставки реле по линейному напряжению обратной последовательности регулируются от 6 до 12 *в*. Отклонение напряжения срабатывания от уставки по шкале не более ±8%.

Проверка правильности включения фильтра-реле под рабочим напряжением осуществляется измерением величин и чередования фаз напряжений, подводимых к фильтру. Точность настройки фильтра

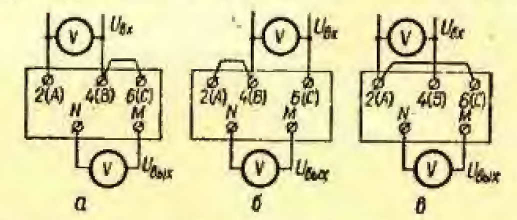


Рис. XVII.33. Схемы имитации различных видов двухфазных коротких замыканий при настройке фильтра-реле типа РНФ-1М.

определяется измерением напряжения небаланса на выходе фильтра вольтметром с малым потреблением. Напряжение небаланса при номинальном напряжении прямой последовательности не должно превышать 1 *в*. (Повышенные напряжения небаланса могут быть вызваны не только неточной настройкой фильтра, но и высшими гармониками в кривой подводимого напряжения, несимметрией подводимых напряжений, различной частотой сети при проверке рабочим напряжением и при проверке настройки фильтра.)

При подведении к фильтру напряжений обратной последовательности фаз, что достигается перекрещиванием на входе фильтра любых двух фаз напряжения, на выходе ненагруженного фильтра напряжение, измеренное вольтметром с малым потреблением, должно быть равно 1,5 $U_{2лин}$, т. е. 150 *в* при 100 *в* на входе. Отношение напряжения на обмотке реле РН-50 к междуфазному напряжению обратной последовательности, подаваемому на вход фильтра, составляет около 1,1.

После восстановления цепей напряжения вторично измеряется напряжение небаланса на выходе фильтра.

Устройства блокировки релейных защит при качаниях

Проверка и настройка устройств блокировки при качаниях рассматривается на примере устройства блокировки типа КРБ-126.

При коротких замыканиях устройство блокировки вводит защиту в действие на время, достаточное для ее срабатывания, и, если срабатывание защиты не произошло, блокирует ее.

Пусковой орган устройства блокировки при качаниях типа КРБ-126 реагирует на токи обратной последовательности I_2 и нулевой последовательности I_0, обеспечивая работу устройства при всех видах несимметричных коротких замыканий. Кратковременное появление несим-

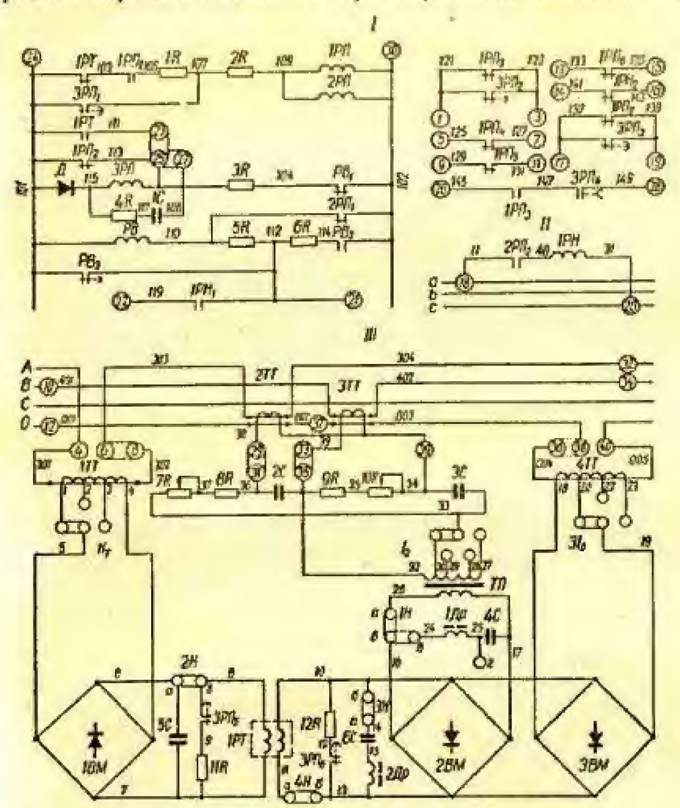


Рис. XVII.34. Принципиальная схема устройства блокировки типа КРБ-126:

I — цепи оперативного постоянного тока; *II* — цепи напряжения переменного тока; *III* — цепи переменного тока.

метрии, обычно предшествующее трехфазным коротким замыканиям обусловливает работу устройства и при симметричных коротких замыканиях.

Для предотвращения запуска устройства блокировки от токов небаланса, могущих быть при значительных токах, сопровождающих качания, его пусковое реле имеет торможение от одной из фаз.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. XVII.34.

Пусковой орган устройства блокировки состоит из фильтра тока обратной последовательности (в который входят сопротивления *7R*, *8R*, *9R*, *10R* и конденсаторы *2C* и *3C*), трансформаторов *1TT*, *2TT*, *3TT*, *4TT*, *TП*, выпрямительных мостов *1BM*, *2BM*, *3BM* и пускового реле *1PT*.

Рабочая обмотка реле *1PT* обтекается током, пропорциональным токам I_2 и $3I_0$.

Чувствительность пускового реле по току I_2 регулируется путем изменения числа включенных витков первичной обмотки трансформатора *TП*, чувствительность по току $3I_0$ регулируется изменением числа включенных витков вторичной обмотки трансформатора *4TT*.

Тормозная обмотка реле *1PT* включена встречно рабочей и обтекается током, пропорциональным току одной из фаз. При торможении пусковой орган блокировки загрубляется. Степень этого загрубления зависит от величины тормозного (фазного) тока и коэффициента торможения.

На выходе фильтра тока обратной последовательности для исключения влияния пятой гармонической составляющей на работу реле *1PT* имеется фильтр (*1Др*, *4C*), настроенный на эту частоту.

Для сглаживания выпрямленного тока и улучшения четкости срабатывания реле *1PT* в цепи рабочей обмотки предусмотрен фильтр, настраиваемый на частоту второй гармоники (*2Др*, *6C*), а в цепи тормозной обмотки — сглаживающий конденсатор *5C*.

Шунтирование рабочей обмотки реле *1PT* сопротивлением *12R*, происходящее после замыкания контакта $3РП_6$, позволяет увеличивать коэффициент возврата схемы.

Для предотвращения возврата реле *1PT* при шунтировании его рабочей обмотки сопротивлением *12R* предусмотрено одновременное шунтирование тормозной обмотки сопротивлением *11R*.

Характеристика срабатывания пускового реле, показывающая зависимость тока его срабатывания от величины тормозного тока $I_т$ и коэффициента торможения, приближенно определяется выражением

$$I_{2ср} = I_{2\,уст.мин} + \frac{k_т}{100} I_т, \qquad \text{(XVII.16)}$$

где $I_{2ср}$ — расчетный ток срабатывания пускового реле по току I_2 при торможении; $I_{2уст.мин}$ — номинальное значение тока срабатывания пускового реле на минимальной уставке по I_2 при $I_т = 0$; $k_т$ — коэффициент торможения (в процентах), выбранный для минимальной уставки по току I_2.

С изменением уставки $I_{2уст}$ коэффициент торможения пропорционально изменяется и выражение (XVII.16) в общем случае будет иметь вид

$$I_{2ср} = I_{2уст} + \frac{k_т}{100} \cdot \frac{I_{2уст}}{I_{2уст.мин}} I_т. \qquad \text{(XVII.17)}$$

Цепи оперативного постоянного тока

В устройствах релейной защиты используются контакты промежуточного реле *1РП* (типа КДП-1), которые разрешают им работать после начала короткого замыкания, а затем блокируют их. В нормальном,

подготовленном к действию режиме это реле находится под напряжением.

В схеме предусмотрены меры, направленные на быстрый возврат этого реле при работе пускового реле *1PT*. Промежуточное реле *2РП* (типа КДР-1), установленное из-за недостаточного количества контактов реле *1РП*, работает одновременно с этим реле и является вспомогательным, поскольку его контакты используются в схеме самого устройства, где не предъявляются особые требования в части быстродействия.

Промежуточное реле *3РП* (типа КДР-3М) имеет выдержку времени при возврате, величина которой в основном определяет время нахождения контактов реле *1РП* во включенном, разрешающем состоянии. Эта выдержка времени может быть увеличена подключением контура *4R* и *1C* за счет разряда конденсатора *1C* через обмотку реле *3РП*.

Длительное или кратковременное размыкание размыкающего контакта *1РП* приводит к обесточению реле *1РП* и *2РП*, которые нормально самоудерживаются контактом $1РП_1$.

При замыкании размыкающего контакта $2РП_1$ пускается реле времени *РВ* (типа ЭВ-144), которое в дальнейшем самоудерживается контактом $РВ_2$. Размыкание контакта $РВ_1$, а также замыкание замыкающего контакта *1PT* и размыкающего контакта реле $1РП_2$ приводят к отпаданию с выдержкой времени реле *3РП*, которое в свою очередь контактом $3РП_1$ приводит в сработанное состояние реле *1РП* и *2РП*.

Возврат схемы в исходное положение, положение готовности к повторному действию, может происходить либо с заданной выдержкой времени, либо немедленно после ликвидации аварии.

В первом случае схема возвращается в исходное положение по истечении выдержки времени контакта $РВ_3$. Во втором случае плюс оперативного постоянного тока подается на клемму *22*, и деблокировка происходит немедленно после замыкания контакта $1РН_1$ реле минимального напряжения *1РН* типа РН-54/160. Клемма *21* предназначена для подсоединения контактов реле, не входящих в эту схему, также обеспечивающих быстрый возврат схемы блокировки. Если короткое замыкание произошло между фазами, на которые реле *1РН* не включено, его контакт может замкнуться до отключения короткого замыкания, однако это не вызовет преждевременного срабатывания реле *3РП*, так как при несимметричных коротких замыканиях замыкающий контакт *1PT* шунтирует катушку реле *3РП*.

Размыкающий контакт $1РП_2$ используется для выравнивания времени возврата реле *3РП* при всех видах короткого замыкания.

Замыкающий контакт *1PT* может быть отсоединен от схемы, например при выполнении токовой защиты обратной последовательности. Взамен этого контакта необходимо вводить внешний контакт.

Уставки по току обратной последовательности I_2, току нулевой последовательности $3I_0$ и коэффициенту торможения $k_т$ регулируются перестановкой переключателей уставок на уставочном плато. Маркировка переключателей уставок по I_2 и $3I_0$ соответствует величинам уставок для исполнения устройства на номинальный ток 5 *а*. При исполнении устройства на номинальный ток 1 *а* значения уставок по I_2 и $3I_0$ в пять раз меньше значений, нанесенных на плато. На уставочном плато устройства находятся накладки, необходимые для настройки и проверки схемы.

Наладка и проверка устройства

1. **Настройка промежуточных реле *1РП*, *2РП* и *3РП*.** В устройстве блокировки использованы промежуточные реле типа КДР-1 (*1РП* и *2РП*) и типа КДР-3М (*3РП*).

Механическая настройка этих реле выполняется по следующим техническим требованиям:

межконтактный зазор при притянутом или отпущенном якоре — не менее 1 *мм*;

провал неподвижных контактов как размыкающих, так и замыкающих — порядка 0,2—0,4 *мм*;

в разомкнутых контактах контактные пластины касаются ограничительных пластин.

При замыкании контактов необходимо надежное соприкосновение серебряных контактов, имеющихся на каждой из пластин, причем точки их соприкосновения не должны сходить с плоскости серебра. Если тока в катушке реле нет, пружинные пластинки подвижных контактов прилегают без зазора к изоляционной пластинке на якоре реле.

Якорь реле КДР-3М при срабатывании реле упирается в скобу магнитопровода и не должен касаться сердечника.

Регулировка времени возврата реле *1РП* и *3РП* в небольших пределах осуществляется путем увеличения или уменьшения давления подвижных контактных пружин.

Необходимо следить за тем, чтобы при регулировке реле прогибы контактов и межконтактные зазоры остались в допустимых пределах.

2. **Проверка реле постоянного тока.** Проверяются напряжения срабатывания и напряжения возврата у всех реле постоянного тока устройства блокировки.

Реле *1РП* и *2РП* проверяются при разомкнутом контакте $3РП_1$ и вынутом из штепсельной колодки реле *1РТ*. При проверке напряжения срабатывания напряжение постоянного тока подается на провод *107* и клемму *30*. Реле *1РП* и *2РП* должны срабатывать при напряжении не более 70% номинального.

Реле должны удерживаться в сработанном состоянии при снижении напряжения, поданного к проводу *105* и клемме *30*, до 70% номинального.

При этой же схеме питания и номинальном напряжении время возврата реле *1РП*, замеренное на размыкающем контакте, должно быть не более 0,008 *сек*.

Реле *3РП* проверяется при заклиненных в сработанном положении реле *1РП* и *2РП*. Напряжение постоянного тока подается на клеммы *24* и *30*. Напряжение срабатывания реле *3РП* не должно превышать 70% номинального. Напряжение отпускания должно быть не менее 1,5% номинального.

Время возврата реле *3РП*, замеренное на контакте $3РП_1$ при снятой перемычке между клеммами *25* и *27*, составляет 0,32—0,40 *сек*, а при поставленной перемычке увеличивается до 0,48—0,6 *сек*.

Реле времени *РВ* проверяется на срабатывание и возврат при изолированном конечном контакте реле $РВ_3$ и заклиненном в отпущенном положении реле *2РП* (контакт $2РП_1$ замкнут). Реле времени надежно и четко срабатывает при напряжении не более 75% номинального, поданном на клеммы *24* и *30*.

Реле времени должно удерживаться в сработанном положении при размыкании контакта $2РП_1$ при напряжении не более 70% номинального.

Указания по проверке реле времени приведены в настоящей главе.

3. **Настройка цепей переменного тока и напряжения.** Для настройки фильтра пятой гармоники и оценки его эффективности в схеме подается напряжение порядка 4—8 *в* частотой 250 *гц* в точку *в* накладки *1Н* и на провод *17* (между точками *б* и *в* накладки *1Н* разрыв).

Изменением величины воздушного зазора дросселя *1Др* добиваются максимального тока в цепочке *1Др — 4С*.

Эффективность фильтра оценивается на частоте 250 *гц*. Напряжение источника подается в рассечку цепей регулировки уставок по I_2.

Эффективность фильтра пятой гармоники определяется отношением напряжений на выходе источника напряжения при включенном и отключенном фильтре, в условиях срабатывания пускового реле.

При отсутствии генератора частоты резонансную частоту фильтра можно определить расчетным путем. Для этого измеряют емкость конденсатора и индуктивность дросселя (специальными мостами или методом амперметра-вольтметра). Резонансная частота определяется по формуле

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \ [гц], \qquad (XVII.18)$$

где L — индуктивность дросселя, *гн*; C — емкость конденсатора, *ф*.

Фильтр второй гармоники настраивают при разомкнутой накладке *3Н* подачей напряжения 4—8 *в* частотой 100 *гц* в точку *а* накладки *3Н* и в точку *б* накладки *4Н*.

Изменяя величину воздушного зазора дросселя *2Др*, добиваются максимального тока в цепочке *2Др — 6С*.

Пусковое реле *1РТ* настраивается в соответствии со следующими требованиями:

а) ток срабатывания 2,4—2,6 *ма*;

б) зазор между контактами не менее 0,4 *мм*;

в) коэффициент возврата 0,4—0,5.

Настройка фильтра тока обратной последовательности на минимум небаланса осуществляется следующим образом.

При снятых накладках *6—8* и *36—38* измеряются первичные токи срабатывания реле *1РТ* при подаче питания к ФТОП от сочетания фаз *АВ*, *ВС* и *СА*. Настройка проводится сопротивлениями *7R* и *10R*. При правильно настроенном фильтре эти токи не должны отличаться друг от друга больше чем на 3,5%.

Чувствительность реле *1РТ* проверяют по току обратной последовательности. Ток срабатывания реле, измеренный на входе фильтра при двухфазном питании на разных фазах, $I_{ср} = \sqrt{3} I_{2уст}$ с отклонением в пределах ±12%, где $I_{2уст}$ — уставка по току обратной последовательности.

Определение коэффициента возврата реле *1РТ* в полной схеме сводится к следующему. Ток срабатывания и ток возврата реле *1РТ* определяют соответственно при притянутом и отпущенном якоре реле *3РП*. Коэффициент возврата реле по току I_2 на всех уставках должен быть 0,7—0,9.

Сопротивление *12R* может быть двух величин. Большая величина сопротивления *12R* необходима для случая, когда коэффициент возврата отдельно взятого реле *1РТ* будет больше 0,45.

Для проверки коэффициента торможения подают раздельное питание к трансформатору *1ТТ* и фильтру тока обратной последовательности. Величина коэффициента торможения в процентах определяется по (XVII.16).

Коэффициент торможения $k_т$ пускового реле (выраженный в процентах) при минимальной номинальной уставке по току обратной последовательности может быть выбран равным 4, 7 или 11 (с отклонением не более ±10%).

Эти величины нанесены у гнезд переключателя уставок коэффициента торможения.

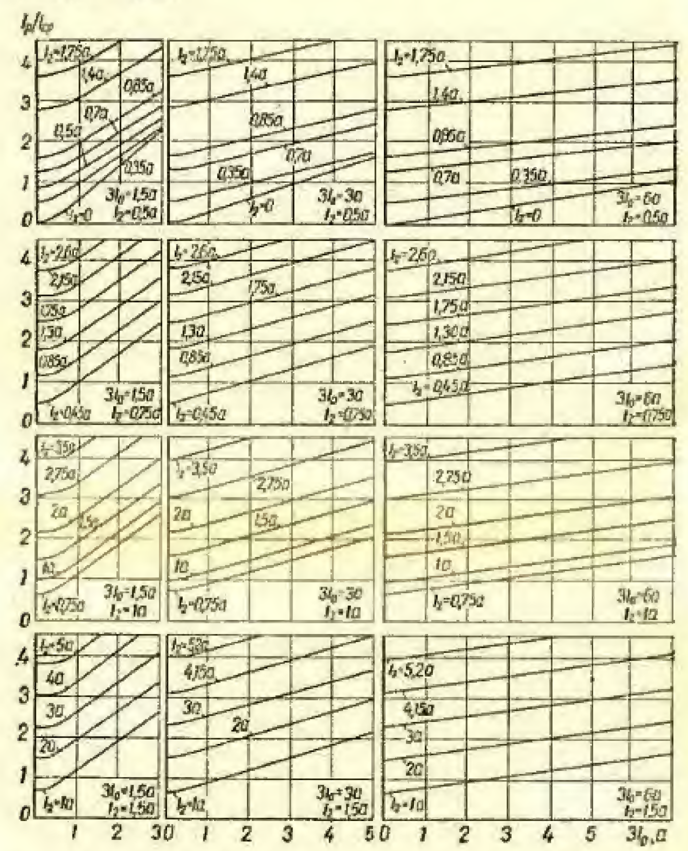


Рис. XVII.35. Характеристики чувствительности устройства блокировки типа КРБ-126:

I_p — ток в рабочей обмотке реле *1РТ*; $I_{ср}$ — ток срабатывания реле *1РТ* без торможения; I_2 — ток обратной и $3I_0$ — ток нулевой последовательности на входе устройства. Уставки по I_2 и $3I_0$ и величины I_2 и $3I_0$ приведены для устройства с номинальным током 5 *а*.

С изменением уставки по току срабатывания обратной последовательности, а также при отклонении величины тока срабатывания обратной последовательности от номинального значения уставки коэффициент торможения пропорционально изменяется. Так, при уставке по току обратной последовательности, равной 1 *а*, и нахождении переключателя уставок коэффициента торможения в положении *7* коэффициент торможения будет равен 14.

Характеристика срабатывания пускового реле, выражающая зависимость его срабатывания по току обратной последовательности от величины тормозного тока, практически не зависит от угла сдвига фаз между токами I_2 и $I_т$.

При проверке чувствительности реле *1РТ* по току нулевой последовательности ток $I = 3I_0$ необходимо подводить только к зажимам *36—40*, так как уставки по току $3I_0$ даны для случая независимого питания трансформатора *4ТТ*. Отклонения от уставок должны быть в пределах ±15%.

Проверка чувствительности реле *1РТ* по токам обратной и нулевой последовательности проводится при одновременном раздельном пропускании тока через ФТОП и тока $3I_0$. Характеристики чувствительности пускового реле (при отсутствии торможения), выражающие зависимость кратности тока в рабочей обмотке этого реле к току его срабатывания от величин токов обратной и нулевой последовательности на разных уставках, приведены на рис. XVII.35. Сочетание величин токов I_2 и $3I_0$ в условиях срабатывания реле должно соответствовать характеристикам на рис. XVII.35. Изменение угла сдвига между фазами токов I_2 и $3I_0$ на характеристики чувствительности практически не влияет.

Проверку реле напряжения *1РН* и при необходимости регулировку его проводят так же, как реле серии РН-50.

Проверка действия полной схемы устройства

Работа полной схемы устройства проверяется при подаче к цепям оперативного тока (клеммы *24* и *30*) 80% номинального напряжения.

а. Срабатывают и остаются в притянутом положении реле *1РП*, *2РП* и *3РП*, реле времени *РВ* срабатывает кратковременно (на время до 20 *сек*).

б. При кратковременном размыкании размыкающего контакта пускового реле *1РТ* отпадают реле *1РП* и *2РП*, запускается реле времени *РВ* и отпадает реле *3РП*, контакт которого *3РП₁* замыкается с определенной выдержкой времени и приводит к повторному срабатыванию реле *1РП* и *2РП*. После замыкания конечного контакта $РВ_3$ возвращается реле времени *РВ* и срабатывает реле *3РП*. Схема готова к повторному действию.

в. При длительном замыкании замыкающего контакта реле *1РТ* отпадают реле *1РП* и *2РП*, запускается реле *РВ*, отпадает якорь *3РП* и срабатывают реле *1РП* и *2РП*. При замыкании контакта $РВ_3$ реле возвращается. Реле *3РП* срабатывает только после замыкания размыкающего контакта реле *1РТ*.

г. При перемычке между клеммами *24* и *22* и пуске устройства размыкающим контактом *1РТ* схема возвращается в исходное состояние до замыкания контакта $РВ_3$, если замкнуть контакт $1РН_1$.

Сопротивление изоляции всех независимых цепей устройства относительно корпуса и между собой при выпуске с завода составляет не менее 10 *Мом*. Во избежание повреждений диодов и изоляции поляризованного реле, могущих произойти при измерении сопротивления изоляции в неисправных цепях, рекомендуется проводить предварительные испытания, в процессе которых эти элементы будут сняты.

При проверке устройства рабочим током и напряжением измеряются величины вторичных токов в фазах и нулевом проводе, снимается секторная диаграмма и измеряются прибором с малым внутренним сопротивлением токи небаланса на выходе фильтра обратной последовательности и в обмотке трансформатора *4TT*.

Переключением токовых цепей на входе панели имитируют междуфазные и однофазные короткие замыкания и наблюдают за поведением пускового реле в этих режимах. После восстановления токовых цепей повторно измеряют токи небаланса. Измеряется величина напряжения на клеммах *18—20* устройства. Потребляемая устройством мощность при номинальных величинах тока и напряжения составляет для токовых цепей не более 5 *ва* на фазу, для цепей напряжения — не более 8,5 *ва*.

Устройства блокировки защит при неисправностях цепей напряжения

Наладка устройств блокировки, применяемых для блокирования релейных защит, ложное действие которых возможно при неисправностях цепей напряжения, рассматривается на примере устройства типа КРБ-13. Принципиальная схема устройства приведена на рис. XVII.36. Схема устройства состоит из фильтра напряжения нулевой

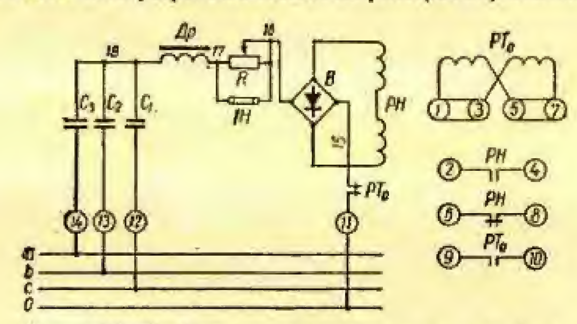


Рис. XVII.36. Принципиальная схема устройства блокировки типа КРБ-13.

последовательности, образованного тремя равными емкостями *C1*, *C2* и *C3*, дросселя *Др*, регулируемого сопротивления *R*, выпрямительного моста *В*, собранного по схеме двухполупериодного выпрямления, реле блокировки *РН* и реле тока нулевой последовательности PT_0. При обрыве одной или двух фаз на выходе фильтра появляется напряжение нулевой последовательности, приводящее к срабатыванию реле *РН*, размыкающий контакт которого контролирует цепи релейных защит. При замыканиях на землю (в том числе и двухфазных) в сети также появляется напряжение нулевой последовательности. Для предотвращения срабатывания при этом реле *РН* цепь его обмотки разрывается контактом реле тока нулевой последовательности PT_0. При обрыве трех фаз устройство блокировки не действует.

При проверке и настройке устройства типа КРБ-13 проверяется механическая часть реле *РН* и PT_0. В случае необходимости регулировка этих реле проводится в соответствии с рекомендациями по проверке реле серий РТ-40 и РН-50.

Конденсаторы фильтра могут быть проверены при поочередной подаче на входные зажимы фильтра регулируемых напряжений U_{A0}, U_{B0} и U_{C0}; отклонения величин напряжений срабатывания реле *РН* должны находиться в пределах 5%. При подведении к зажимам реле трехфазной симметричной системы регулируемых напряжений с нулем и обрыве одной из фаз реле *РН* должно сработать (при плавном повышении напряжения) при следующих значениях линейных напряжений между здоровыми фазами: а) на уставке *6* при 10,4 ± 1,04 *в*; б) на уставке *9* при 15,6 ± 1,56 *в*; в) на уставке *12* при 20,8 ± 2,08 *в*. (Подрегулировка напряжения срабатывания на уставке *12* проводится сопротивлением *R*.) Для получения уставки *12* следует разомкнуть накладку *1Н* и поставить указатель шкалы реле *РН* на уставку *9*; при работе на уставках *6* и *9* накладка *1Н* должна быть замкнута.

Таблица XVII.14

Величины токов срабатывания реле РТ устройства блокировки типа КРБ-13

Исполнение устройства по номинальному переменному току	Тип реле	Ток срабатывания, *а*, когда указатель	
		на первой уставке	на последней уставке
1 *а*	РТ-40/0,2	0,048÷0,052	0,095÷0,105
5 *а*	РТ-40/0,6	0,143÷0,157	0,285÷0,315

При восстановлении оборванной фазы реле должно четко вернуться в исходное положение. Коэффициент возврата реле *РН* должен быть не менее 0,8.

Величины тока срабатывания реле PT_0 (при последовательном соединении секций обмотки) должны соответствовать данным табл. XVII.14.

Напряжение небаланса измеряют при подаче на реле симметричного трехфазного напряжения 110—100 *в* между нулевым проводом и точкой *18* высокоомным прибором. Величина напряжения небаланса на уставке *6* и замкнутой накладке *1Н* не должна превышать 2 *в*.

Время размыкания контакта реле *РН* измеряется при обрыве одной из фаз на уставке *9* и разомкнутой накладке *1Н*. Время размыкания не превышает 20 *мсек*. Потребляемая мощность реле при номинальном напряжении не более 5 *ва* на фазу.

Сопротивление изоляции электрически не связанных цепей реле относительно корпуса и между собой при выпуске с завода не ниже 10 *Мом*.

Защиты от однофазных замыканий на землю в сети с малым током замыкания на землю

Защиты с трансформатором тока нулевой последовательности кабельного типа ТНП

Основные технические данные ТНП приведены в табл. XVII.15.

Схемы расположения и соединения обмоток ТНП приведены на рис. XVII.37. На рис. XVII.38 приведена схема расположения зажимов и маркировки выводов обмоток ТНП.

При монтаже ТНП должны быть соблюдены следующие условия: расстояние от ТНП до концевых кабельных воронок должно быть не менее 0,7 *м*, а до ближайших участков ошиновки — не менее 1,5—2 *м*; ТНП устанавливается на кронштейнах или уголках, на которые должны

Таблица XVII.15

Основные технические данные трансформаторов типа ТНП

Тип	Число охватываемых кабелей	Диаметр кабеля, *мм*	Цепь подмагничивания: Номинальное напряжение, *в*	Цепь подмагничивания: Потребляемая мощность, *ва*	Вторичная цепь: Оптимальное полное сопротивление $Z_н$, *ом*	Вторичная цепь: Получаемая мощность, *ва*, при $I_{ср} = 1$ *а*	Наибольшая э. д. с. небаланса во вторичной цепи, *мв*: $e_{нб1}$ (от подмагничивания)	Наибольшая э. д. с. небаланса во вторичной цепи, *мв*: $e_{нб.н.р}$ (от несимметричного расположения первичных токов при нормальной нагрузке кабелей)
ТНП-2	1—2	50	110	20	10	0,00625	150	17
ТНП-4	3—4	50	110	45	10	0,00625	150	17
ТНП-7	5—7	50	110	50	10	0,00344	150	14
ТНП-12	8—12	60	110	70	10	0,00344	150	14
ТНП-16	13—16	60	110	85	10	0,00344	150	14

опираться немагнитные планки, стягивающие оба магнитопровода; во всех случаях металлические конструкции должны быть удалены от магнитопровода ТНП не менее чем на 50 *мм*; в месте прохождения сквозь окно трансформатора кабели сближаются, причем в зависимости от местных условий они помещаются в окне ТНП в один ряд по длинной оси или в два ряда в шахматном порядке; в обоих случаях кабели следует располагать симметрично относительно центра окна; на участке между ТНП и выводами защищаемого оборудования металлические оболочки, броня, концевые воронки кабелей и провода заземления воронок должны быть тщательно изолированы от земли; кабели и провода необходимо изолировать и от корпуса ТНП; провод заземления каждого кабеля пропускается сквозь окно рядом со своим кабелем, изолировать этот провод от брони кабеля не нужно.

Сопротивление соединительных проводов между ТНП и реле не должно превосходить 1 *ом*.

Наладка защиты производится в следующем объеме.

1. Проверка правильности монтажа ТНП и его внешний осмотр. Проверяется соблюдение перечисленных выше условий монтажа, качество шихтовки и затяжки сердечников, целость изоляции обмоток и их выводов, отсутствие механических повреждений.

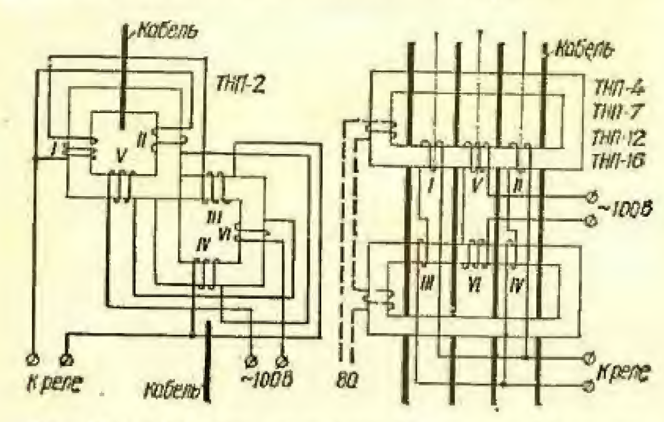


Рис. XVII.37. Схема расположения и соединения обмоток ТНП.

2. Проверка исправности изоляции концевых воронок и брони кабелей на участке между ТНП и защищаемым оборудованием осуществляется по схеме, приведенной на рис. XVII.39. При поочередной подаче переменного тока в рассечку заземляющих проводов напряжение на обмотке исполнительного реле измеряют милливольтметром с малым потреблением (оболочки кабелей на противоположных концах заземлены). При пропускании тока 10—20 *а* стрелка прибора должна отклоняться не более чем на 4—5 *мв*.

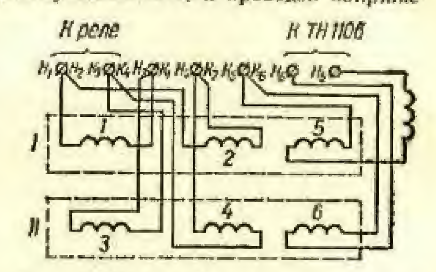


Рис. XVII.38. Схема расположения зажимов и маркировка концов обмоток кабельных ТНП:

I и *II* — обмотки соответственно верхнего и нижнего магнитопроводов; *1—4* — вторичные обмотки; *5* и *6* — обмотки подмагничивания.

3. Настройка цепи подмагничивания на минимум небаланса. Для облегчения наладки ТНП заводы-изготовители выпускают их с одним неприсоединенным концом обмотки подмагничивания длиной 1,5—2 *м* для регулировки числа витков. При настройке цепи подмагничивания к обмотке подмагничивания подводится напряжение 110 *в* переменного тока; вторичная цепь замыкается на милливольтметр (с сопротивлением не менее 100 *ом*). Доматывают витки обмотки в ту или другую сторону, добиваясь наименьшей величины э. д. с. небаланса, которая должна быть не более 150 *мв*. Затем окончательно соединяют и изолируют выводы обмоток.

4. Определение тока срабатывания (чувствительности) защиты заключается в следующем. На магнитопровод ТНП в любом месте наматывают временную вспомогательную обмотку из одного-двух витков (обмотка *ВО*, показанная пунктиром на рис. XVII.37). При минимальной уставке исполнительного реле и плавном увеличении тока во вспомогательной обмотке определяются минимальные ампер-витки срабатывания реле в зависимости от фазы напряжения подмагничивания.

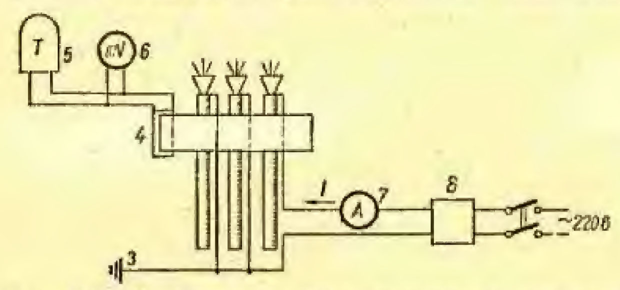


Рис. XVII.39. Схема проверки исправности изоляции концов воронок и брони кабелей на участке между ТНП и защищаемым оборудованием.

В табл. XVII.16 указана чувствительность защиты при параллельном включении катушек реле и при наиболее неблагоприятном угле сдвига фаз между токами намагничивания и подмагничивания, равном 90°. При угле сдвига фаз, равном нулю, ток срабатывания может уменьшиться на 20—30%.

Таблица XVII.16

Чувствительность защиты с трансформаторами тока типа ТНП

Тип трансформатора тока	Тип реле максимального тока	Минимальный ток срабатывания реле $i_{ср}$, *а*	Чувствительность защиты $I_{ср}$, *а*
ТНП-2, ТНП-4 ТНП-7, ТНП-12	ЭТД-551/60	0,03	1,3
ТНП-16	ЭТД-551/60	0,03	1,8

5. Регулировка заданного тока срабатывания проводится по той же схеме, что и проверка чувствительности защиты.

6. Напряжение небаланса при полной нагрузке, обусловленное несимметричным расположением магнитных потоков первичной цепи, измеряется при отключенном подмагничивании. Величина напряжения небаланса не должна превышать величин, указанных в табл. XVII.15. Затем определяется напряжение небаланса при включенном подмагничивании. Цепь подмагничивания окончательно включается на такие фазы, при которых напряжение небаланса имеет наименьшую величину.

Проверка исполнительного реле, вторичных цепей, испытание изоляции проводят в соответствии с общими указаниями по проверке реле и цепей релейной защиты.

Защиты с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного типа ТНП-Ш

Основные технические данные трансформаторов ТНП-Ш приведены в табл. XVII.17.

Схема трансформатора типа ТНП-Ш дана на рис. XVII.40.

При монтаже ТНП-Ш должны быть соблюдены следующие условия: расстояние от ТНП-Ш до ближайших металлических конструкций должно быть не менее 0,5 *м*; металлические конструкции, на которых крепится ТНП-Ш, должны быть удалены от магнитопровода не менее чем на 40—50 *мм*, посторонние участки ошиновки должны быть удалены от ТНП-Ш на 1—1,5 *м*; отходящие от ТНП-Ш шины должны быть расположены

Таблица XVII.17

Основные технические данные трансформаторов типа ТНП-Ш

Тип	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Десятисекундная термическая устойчивость, *ка*	Наибольший ударный ток короткого замыкания, *ка*	Цепь подмагничивания: Номинальное напряжение, *в*	Цепь подмагничивания: Потребляемая мощность, *ва*	Полное сопротивление холостого хода во вторичной цепи, *ом*	Э. д. с. небаланса во вторичной цепи, *мв*, при нормальной нагрузке: от подмагничивания	Э. д. с. небаланса во вторичной цепи, *мв*, при нормальной нагрузке: от несимметрии первичных токов
ТНП-Ш1.06 ТНП-Ш1.10 ТНП-Ш1.15	6,3 10,5 15,75	1750	24	165	110	20	10	100	60
ТНП-Ш2.06 ТНП-Ш2.10 ТНП-Ш2.15	6,3 10,5 15,75	3000	48	165	110	25	10	100	85
ТНП-Ш3.06 ТНП-Ш3.10 ТНП-Ш3.15	6,3 10,5 15,75	4500	72	165	110	30	10	100	100

так, чтобы средняя фаза, не считая ее участка, находящегося на оси ТНП-Ш, была не ближе 60—70 *см* от магнитопровода, ошиновку крайних фаз располагают по возможности симметрично относительно каждой секции вторичной обмотки ТНП-Ш.

При приемо-сдаточных испытаниях проводится испытание изоляции ТНП-Ш напряжением переменного тока промышленной частоты. Величины испытательных напряжений принимаются в соответствии с табл. XI.2 (для нормальной изоляции); испытание изоляции вторичных, блокировочных и подмагничивающих обмоток производится напряжением переменного тока 1 *кв*. Продолжительность приложения испытательного напряжения — 1 *мин*. Перед испытанием повышенным напряжением измеряют сопротивление изоляции. Величина его не нормируется. При значительном снижении сопротивления изоляции по

сравнению с данными заводских испытаний должна быть проведена сушка.

Наладку защиты с трансформатором тока типа ТНП-Ш проводят аналогично рассмотренной выше наладке защит с трансформаторами тока типа ТНП. Величины напряжений небаланса во вторичной цепи не должны превосходить значений, приведенных в табл. XVII.17. Чувствительность защиты для различных типов ТНП-Ш дана в табл. XVII.18.

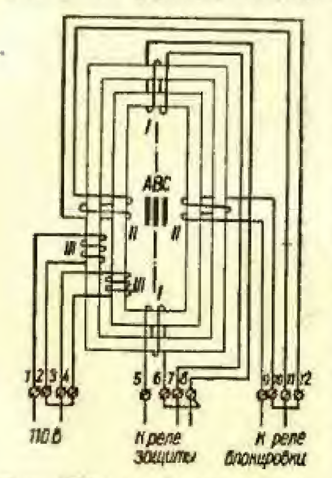


Рис. XVII. 40. Схема устройства трансформатора ТНП-Ш:

A, B, C — шины трех фаз первичной цепи; *I—I* — вторичные обмотки; *II—II* — блокировочные обмотки; *III—III* — обмотки подмагничивания.

Для предотвращения ложного действия защиты при сквозных междуфазных коротких замыканиях на трансформаторах ТНП-Ш предусмотрена блокировочная обмотка, к которой подключается обмотка блокирующего реле (если блокировка не используется, блокировочная обмотка оставляется разомкнутой).

При настройке цепи подмагничивания на минимум небаланса измеряется э. д. с. небаланса блокировочной обмотки. Включение миллививольтметра в цепь блокировочной обмотки не должно вызывать отклонения его стрелки.

Для регулировки уставки блокирующего реле предварительно при нормальной нагрузке генератора измеряется э. д. с. небаланса блокировочной обмотки $e_{\text{бл.н.р}}$. Уставка напряжения срабатывания реле определяется по формуле

$$U_{\text{бл.тр}} = e_{\text{бл.н.р}} k_{\text{бл}},$$

где $k_{\text{бл}}$ — заданная кратность напряжения срабатывания реле блокировки по отношению к напряжению на реле при симметричном трехфазном режиме (табл. XVII.18).

Таблица XVII.18

Чувствительность защиты с трансформаторами типа ТНП-Ш

Тип трансформатора тока нулевой последовательности	Тип основного реле максимального тока	Ток срабатывания реле, *а*	Сопротивление реле, *ом*	Чувствительность по первичному току, *а*	Уставка кратности реле блокировки
ТНП-Ш1	ЭТД-551/60	0,03	9	2,4	1,5—1,73
ТНП-Ш2	ЭТД-551/60	0,015	36	3,5	1,5—2,45
ТНП-Ш3	ЭТД-551/60	0,015	36	3,5	1,5—2,08
ТНП-Ш2, ТНП-Ш3	ЭТД-551/60	0,03	9	2,4	—

Защиты с трансформаторами тока нулевой последовательности без подмагничивания

Наладка защит с трансформаторами тока нулевой последовательности без подмагничивания проводится аналогично рассмотренным выше защитам, исключая проверки, связанные с подмагничиванием.

Таблица XVII.19

Чувствительность защит с трансформаторами тока нулевой последовательности различных типов и реле типа ЭТД-551/60

Тип трансформатора тока	Сопротивление соединительных проводов, *ом*	Уставка тока трогания, *а*	Чувствительность защиты, *а*		
			при работе одного трансформатора тока	при последовательном соединении двух трансформаторов тока	при параллельном соединении двух трансформаторов тока
ТЗЛ, ТЗ	1,0	0,03	3,5	4,0	6,0
ТЗЛМ	1,0	0,03	3	3,2	4,5
ТЗЛ-95	0,1	0,03	2,5	3,08	1,76

Чувствительность защит для различных типов трансформаторов тока и схем их соединения приведена в табл. XVII.19.

Газовая защита трансформаторов

Наладка газовой защиты силовых трансформаторов выполняется при приемо-сдаточных испытаниях в следующем объеме.

1. Проверка правильности монтажа и осмотр газового реле. Для правильной работы газовой защиты при монтаже необходимо соблюдать следующие условия. Подъем крышки трансформатора по направлению к газовому реле должен быть 1—1,5%, а маслопровода от трансформатора к расширителю — 2—4%. Величину подъема крышки трансформатора и маслопровода следует проверить по уровню. Крышка газового реле должна быть строго горизонтальна. Стрелка на крышке должна показывать направление в сторону расширителя. Провода и контрольные кабели, присоединяемые к газовому реле, должны иметь маслостойкую изоляцию или надежно защищаться от разъедания изоляции маслом.

При внешнем осмотре газового реле проверяют целость корпуса реле, отсутствие течи из кранов, целость и плотность прилегания стекла смотрового окна, целость проходных изоляторов выводов от контактов реле, их армировку, надежность контактных соединений. При осмотре выемной части тщательно проверяют поплавки, нет ли вмятин, трещин и дефектов пайки; проверяется установка и крепление грузов, регулирующих плавучесть поплавков и чувствительность лопасти; проверяются легкость хода и отсутствие заедания движущихся частей, гибкость и исправность изоляции токопроводов (токопроводы не должны мешать перемещению подвижных частей реле); проверяется, нет ли трещин в стеклянных баллончиках ртутных контактов, особенно в местах впайки электродов (при помощи лупы примерно с пятикратным увеличением): стекло баллончиков должно быть прозрачным и без налетов, шерохо-

ватостей, пузырьков воздуха и посторонних включений; ртуть не должна прилипать к стеклу и дробиться на шарики при встряхивании.

Стеклянные колбочки ртутных контактов должны быть установлены так, чтобы в разомкнутом состоянии контактов расстояние от поверхности ртути до непогруженного в ртуть электрода составляло 3—4 *мм*. При замыкании контактов ртуть должна одинаково заливать оба электрода. Во избежание преждевременного выхода из строя контактов реле плюс батареи следует подключать к электроду, имеющему постоянный контакт с ртутью. Проверяется состояние уплотнений краников и прокладок.

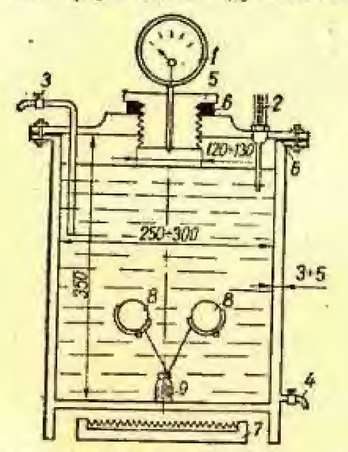


Рис. XVII.41. Установка для проверки герметичности поплавков и контактов:

1 — манометр; *2* — термометр, *3* — кран для регулирования давления; *4* — кран для спуска масла; *5* — пробка отверстия для закладки поплавков; *6* — прокладки; *7* — подогрев; *8* — поплавки реле; *9* — груз, удерживающий поплавки.

2. Испытание поплавков и ртутных контактов на герметичность.

Герметичность поплавков вновь устанавливаемых реле рекомендуется предварительно проверять в горячей воде или в горячем масле. Поплавки без ртутных контактов погружают на 2 *мин* в сосуд с водой, нагретой до 85—95° С, или в трансформаторное масло, нагретое до 100—120° С так, чтобы толщина слоя воды или масла над ними была не менее 25 *мм*. При неплотностях из поплавков выделяются пузырьки воздуха. Такие поплавки следует браковать.

Поплавки, выдержавшие предварительные испытания в горячей воде или в горячем масле, подвергают окончательному испытанию на герметичность в масле при давлении 1,5 *ати* и температуре 70—90° С. Продолжительность испытания — не менее 8 *ч*. Ртутные контакты при этом могут оставаться на поплавках, но изолирующие бусы следует снять с токопроводов.

До и после испытания под давлением поплавки промывают в бензине, тщательно сушат и взвешивают на весах с точностью до 0,1 *г*. Увеличение веса поплавка после испытаний более чем на 0,1—0,2 *г* свидетельствует о его негерметичности. Такие поплавки следует браковать. На рис. XVII.41 приведена в качестве примера установка для проверки герметичности поплавков и контактов.

3. Проверка плавучести поплавков и исправности ртутных контактов. На время испытания сосуд с прозрачными стенками заполняют маслом, и в него погружается выемная часть реле. Для этой цели может быть использована стеклянная банка от аккумулятора, сосуд из листового органического стекла и др. Плавно погружая в сосуд с маслом и поднимая выемную часть реле, заставляют поплавки всплывать и опускаться. При этом проверяют легкость перемещений поплавков на осях, отсутствие заеданий движущихся частей, гибкость токопроводов, а также не мешают ли последние работе подвижных частей.

При погруженной в сосуд с маслом выемной части реле мегомметром 1000 *в* проверяется, нет ли проводимости разомкнутых ртутных контактов. Сопротивление изоляции должно быть равно бесконечности.

Качество ртути проверяют 10-кратным замыканием и размыканием тока величиной 0,8—1,0 *а* при напряжении до 220 *в* постоянного тока. Замыкание и размыкание контактов производится плавным опусканием и подъемом выемной части реле. При замыкании и размыкании контактов не должно быть затяжки дуги и обгорания электродов. Если после испытания на стекле или ртути заметен налет, контакты бракуют.

4. Проверка чувствительности отключающих элементов и сигнальных поплавков.

Чувствительность отключающих элементов газовых реле должна быть такова, чтобы они срабатывали при скорости потока масла не менее 0,5 *м/сек*. Экспериментальную проверку чувствительности отключающих элементов газовых реле, по которым имеются данные испытаний и характеристики чувствительности, проводить не обязательно. В случае отсутствия таких данных проверка и настройка чувствительности отключающих элементов реле к скорости потока масла обязательны и должны проводиться на специальных установках, позволяющих регулировать и изучать скорость потока масла.

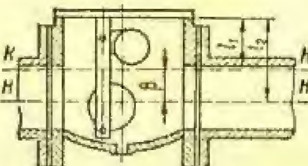


Рис. XVII.42. Определение запаса надежности β газового реле:

l_1 — величина понижения уровня масла до линии $K — K$, необходимая для беспрепятственного выхода газа из реле; l_2 — величина понижения уровня масла до линии $H — H$, при котором срабатывает нижний поплавок реле; β — запас надежности, обеспечивающий несрабатывание нижнего поплавка реле при выходе газа.

Сигнальный поплавок газового реле должен срабатывать при вытеснении газом определенного для данного типа реле объема масла из верхней части реле. Для проверки и регулировки чувствительности сигнального поплавка выемная часть реле устанавливается крышкой на полки испытательного сосуда, наполненного маслом. Сливая через нижний кран масло, замечают по шкале, нанесенной на стенке сосуда, при каком понижении уровня срабатывает сигнальный контакт (фиксируется сигнальной лампой).

В том случае, когда при испытании газового реле его корпус снимается с маслопровода, чувствительность сигнального поплавка можно проверить в собственном корпусе реле. На боковые фланцы кожуха реле ставят заглушки и в залитый маслом кожух вставляют выемную часть реле (на прокладки). Верхний кран открывается для доступа воздуха, и через нижний кран (пробку) медленно сливается масло.

5. Проверка отстройки отключающего поплавка от слабого газообразования.

Для того чтобы при заполнении газом или воздухом верхней части реле не происходило срабатывание отключающего поплавка, нужно, чтобы уровень масла $H—H$, при котором срабатывает отключающий поплавок, был ниже уровня $K—K$, при котором газы свободно выходят (рис. XVII.42). Расстояние l_2 от верхней крышки реле до уровня $H—H$ должно быть больше расстояния l_1 до уровня $K—K$. Запас надежности $\beta = l_2 — l_1$ должен быть порядка 10 *мм*. Для определения расстояния l_2 выемная часть реле устанавливается на полки испытательного сосуда, наполненного маслом. Медленно спуская через нижний кран масло, по шкале на стенке сосуда отмечают уровень и расстояние l_2, при котором срабатывает контакт (фиксируется сигнальной лампой).

Расстояние l_1 непосредственно измеряют на корпусе реле при вынутой выемной части. Следует учитывать при этом толщину уплотняю-

щей прокладки под крышкой реле, а также иметь в виду, что запас надежности уменьшается при применении для соединения газового реле с расширителем труб меньшего диаметра, чем диаметр выхлопного патрубка реле, или при наличии на горизонтальной части трубопровода между реле и расширителем кранов или выступающих краев прокладок, сужающих сечение трубопровода.

6. Проверка изоляции цепей газовой защиты.

Мегомметром на 1000—2500 *в* измеряют сопротивление изоляции цепей газовой защиты на землю в полной схеме и сопротивление изоляции между жилами контрольного кабеля к газовому реле. Изоляцию указанных цепей испытывают напряжением 1000 *в* переменного тока в течение 1 *мин*. При проверке изоляции между жилами кабеля ртутные контакты реле необходимо отсоединить.

7. Проверка работы газовой защиты нагнетанием воздуха в газовое реле.

Воздух подается через кран газового реле либо от бачка со сжатым воздухом, либо с помощью насоса. При снижении уровня масла по шкале смотрового стекла до красной черты должен сработать сигнальный поплавок и соответствующая сигнализация. При дальнейшем плавном нагнетании воздух должен проходить в расширитель, при этом отключающий поплавок не должен действовать. Для того чтобы сработал отключающий поплавок, воздух следует нагнетать резко и неравномерно для получения толчка масла, опрокидывающего поплавок. Если при проверке отключающий поплавок не срабатывает при подаче воздуха толчками, то воздух подают при перекрытом кране в маслопроводе между реле и расширителем. При этом можно добиться срабатывания отключающего поплавка, открыв кран после нагнетания воздуха в реле. Действие отключающего поплавка проверяется на отключение выключателей (включение короткозамыкателя) трансформатора.

Некоторые конструкции реле с отключающим элементом, выполненным в виде лопасти, имеют специальное устройство для проверки его действия. Если при испытании этих реле нагнетанием воздуха не удается добиться их срабатывания, то можно ограничиться проверкой действия отключающего элемента с использованием этого устройства.

Реле времени

Электромагнитные реле времени серии ЭВ

В программу проверки электромагнитного реле времени входят: внешний осмотр, проверка механической части, изоляции, напряжений срабатывания и возврата, проверка и регулировка времени срабатывания.

При внешнем осмотре и проверке механической части реле необходимо убедиться в том, что плунжер электромагнита чист и хорошо отполирован; возвратная пружина — конической формы, витки ее не ложатся друг на друга при втянутом плунжере; плунжер и возвратная пружина — без следов ржавчины; люфт плунжера в латунной гильзе (поперечный) — 0,3—0,6 *мм*, люфт рычага плунжера в пластмассовой колодке — 1—1,5 *мм*.

Убеждаются в том, что при многократном запуске (вручную) часового механизма не прослушиваются перебои и срывы в его работе; стрелка с подвижным контактом равномерно вращается вдоль всей шкалы; контактные пружины лежат в одной плоскости, перпендикулярной шкале; в момент замыкания оба неподвижных контакта соприкасаются

с подвижным одновременно; прогиб их в месте касания с подвижным контактом составляет не меньше 0,7—1,0 *мм*; пружина подвижного переключающего контакта имеет прогиб в средней части при верхнем положении 0,5—1 и при нижнем — 1—2 *мм*; в среднем положении (в момент переключения) пружина не прогибается.

Напряжение срабатывания определяют при подаче на реле толчком напряжения (рис. XVII.43). Напряжение возврата проверяют при плавном его уменьшении.

Минимальное напряжение четкого срабатывания реле серии ЭВ-100 должно быть не выше 70% номинального, реле типов ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235 и ЭВ-245 — не выше 75% номинального и реле типов ЭВ-217, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-247, ЭВ-218, ЭВ-228, ЭВ-238, ЭВ-248 — не выше 85% номинального напряжения. Напряжение возврата реле должно быть не ниже 5% номинального напряжения.

Рис. XVII.43. Схема проверки напряжений срабатывания и возврата реле времени.

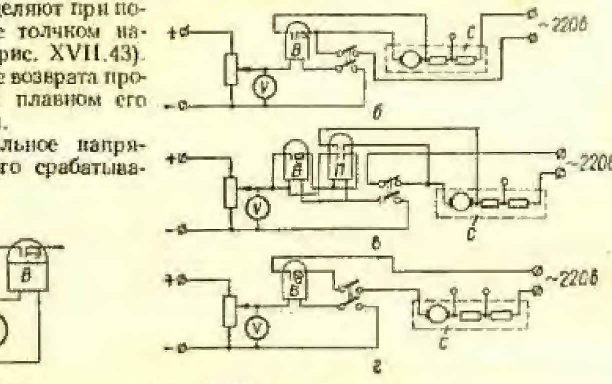


Рис. XVII.44. Схемы проверки выдержки времени реле ЭВ:

а — схема измерения выдержки времени размыкающих контактов; *б* — схема измерения выдержки времени замыкающих контактов; *в* — схема измерения выдержки времени проскальзывающего контакта; *г* — схема измерения длительности замыкания проскальзывающего контакта.

Время срабатывания реле проверяется электросекундомером по схемам, приведенным на рис. XVII.44 при номинальном напряжении и при 0,7—0,85 $U_н$.

Разброс времени — разность между максимальным и минимальным временем срабатывания при десяти измерениях на одной и той же уставке при $U_н$ — не должен превышать следующих значений:

Максимальная выдержка времени, *сек*	1,3	3,5	9	20
Разброс времени, *сек*	0,06	0,12	0,25	0,8

Время замкнутого состояния проскальзывающего контакта находится в следующих пределах:

Максимальная выдержка времени, *сек*	1,3	3,5	9	20
Время замкнутого состояния, *сек*	0,05—0,1	0,17—0,25	0,45—0,65	1—1,5

При расхождении полученных выдержек времени с уставками по шкале следует изменить положение контактной колодки и шкалы реле. Ремонт часового механизма при необходимости проводится в специальной лаборатории (мастерской) квалифицированным персоналом.

Реле времени серии РВМ

Схема внутренних соединений реле приведена на рис. XVII.45. Реле состоит из двух насыщающихся трансформаторов, включаемых во вторичные цепи измерительных трансформаторов тока любых двух фаз трехфазной системы, электродвигателя и контактной системы (электродвигатель должен включаться только в одну какую-либо цепь).

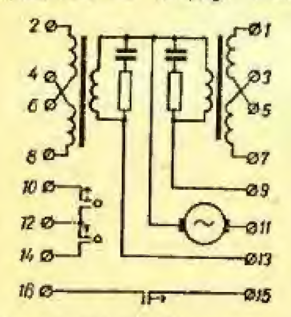


Рис. XVII.45. Схема внутренних соединений реле типов РВМ-12 и РВМ-13.

При наладке и регулировке реле необходимо руководствоваться следующим.

Рама с подвижными контактами должна свободно вращаться в своих подшипниках; осевой люфт — в пределах 0,2—0,4 *мм*; осевой люфт промежуточной оси — 0,2—0,4 *мм*. Сцепление с ведущей шестеренкой моторчика должно иметь зазор порядка 0,08 *мм*. Перемещением микродвигателя можно изменить зазор в сцеплении за счет люфтов между крепящими винтами и отверстиями в плате микродвигателя. Нажатие подвижных контактов на неподвижные должно быть в пределах 5—10 *г*, что обеспечивается регулировкой прогиба неподвижных контактов, который должен быть в пределах 0,4—0,6 *мм*.

Пружина для возврата подвижной контактной рамы должна быть отрегулирована так, чтобы в любом положении могла преодолевать сопротивление двух контактных пластинок при одинаковых уставках времени срабатывания (выполнение одинаковых уставок на трех контактах не допускается). Регулировка осуществляется перемещением угольника, крепящего конец пружины.

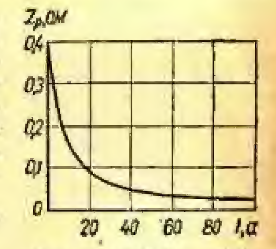


Рис. XVII.46. Зависимость полного сопротивления токовой цепи реле РВМ-12 и РВМ-13 от тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора.

Для проверки исправности двигателя необходимо иметь в виду следующее.

В зубчатых сцеплениях ротора с колесом не должно быть загрязнений; при подаче на катушку статора напряжения не более 55 *в* ротор должен вращаться с синхронной скоростью 500 *об/мин* и входить в зацепление с зубчатым колесом; при питании через насыщающийся трансформатор и последовательном соединении первичной обмотки и токах от 2,5 до 75 *а* двигатель должен вращаться равномерно; при снятии тока ротор двигателя должен четко опускаться на нижний упор.

Ток срабатывания реле при последовательном соединении обмоток составляет 2,4—2,5 *а*, а при параллельном — 4,8—5,0 *а*. Ток четкого возврата подвижных частей реле в исходное положение должен быть не ниже 0,2 *а* при параллельном соединении обмоток.

Зависимость полного сопротивления реле от тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора $Z = f(I)$ приведена на рис. XVII.46.

Время срабатывания реле проверяется по схеме, аналогичной схеме проверки реле времени серии ЭВ.

После установки в первичной цепи тока срабатывания напряжение на катушку электродвигателя должно подаваться «толчком», т. е. замыканием управляющего контакта. Реле допускают длительное протекание по первичным обмоткам тока 10 *а* и в течение 4 *сек* тока 150 *а* (при параллельном соединении обмоток).

Разброс времени срабатывания проверяется на максимальной уставке времени конечного контакта при 1,5-кратном токе срабатывания. Разброс времени срабатывания при изменении тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора от $I_{ср}$ до $20I_{ср}$ не превышает 0,12 *сек* для реле РВМ-12 и 0,25 *сек* — для реле РВМ-13.

Потребляемая мощность реле при двукратном токе срабатывания не более 10 *ва*.

Промежуточные и указательные реле

В объем проверки промежуточных и указательных реле входят внешний осмотр, проверка механической части, изоляции токоведущих частей, напряжения (тока) срабатывания и возврата реле, а также удерживания (при соответствующих обмотках). В случае необходимости проверяют время срабатывания и возврата реле.

Промежуточные реле

Внешний осмотр и проверка механической части. Реле серии РП-20. Зазор между подвижными и неподвижными контактами — не менее 2,5 *мм* (регулировать можно подгибанием верхнего упора); давление контактов в пределах 12—18 *г*; регулировка давления контактов осуществляется подгибанием неподвижных контактов угольников. Провал контактов должен быть в пределах 0,7—1 *мм*.

При обесточенном состоянии реле РП-23 и РП-24 подвижная контактная система должна упираться в верхний упор; зазор между ограничителем хода якоря и якорем — в пределах 0,5—2 *мм*. При обесточенном состоянии реле типа РП-25 и РП-26 зазор между хвостовиком скобы якоря и упором пластмассовой колодки должен быть около 0,5 *мм*.

В реле РП-24 и РП-26 указатель срабатывания должен свободно вращаться на своей оси; в заведенном состоянии защелкивающая пружина заходит за зуб флажка примерно на 1 *мм*. При возврате указателя срабатывания нажатием кнопки он должен четко возвращаться в исходное положение.

Перестановкой угольников неподвижных контактов можно получить различные сочетания замыкающих и размыкающих контактов.

Реле серии РП-210. Зазор между якорем и сердечником обесточенного реле — не более 1 *мм*; для четкого срабатывания и возврата реле типа РП-211 и РП-215 давление подвижных контактных пластинок на рамку толкателя — не менее 5 *г*, для остальных реле — не менее 3 *г* на каждую контактную пластинку при отпущенном якоре. При этом верхние контактные пластинки реле РП-211 и РП-215 должны

быть отведены. Такому давлению будут соответствовать провалы пластинок размыкающих контактов 0,2—0,3 *мм*.

Зазор между замыкающими контактами реле при отпущенном якоре должен быть не менее 1 *мм*; провал замыкающих контактов определяется зазором не менее 0,25 *мм* между медным штифтом на переднем керне сердечника и якорем; при указанном зазоре все замыкающие контакты замкнуты. Провал размыкающих контактов (для реле РП-215) определяется зазором не менее 0,3 *мм* между торцом регулировочного винта и верхней плоскостью якоря; при указанных зазорах все размыкающие контакты должны быть замкнуты.

Реле серии РП-230. Зазор между подвижными и неподвижными контактами в пределах 2,5—2,8 *мм*. Регулировку осуществляют подгибанием упора угольника. Давление контактов должно быть в пределах 12—18 *г*. Его можно отрегулировать подгибанием неподвижных контактных угольников. Провал контактов должен быть в пределах 0,7—1 *мм*.

Реле серии РП-250. Зазор между подвижным и неподвижным контактами должен быть для всех реле, за исключением реле РП-253, не менее 2,5 *мм*; в реле РП-253 — не менее 2,0 *мм*, а для размыкающего контакта в цепи демпферной обмотки этого реле при притянутом якоре — не менее 1,5 *мм*. Междуконтактный зазор устанавливается регулировочным винтом на скобе, крепящей якорь. Давление контактов должно быть не менее 15 *г* на каждый контакт, что соответствует провалу контактного мостика не менее 0,5 *мм*. Начальный воздушный зазор между якорем и скобой магнитопровода для всех реле близок к 3 *мм*. Регулировка начального зазора между якорем и скобой магнитопровода осуществляется с помощью диамагнитного винта скобы якоря.

Реле серии РП-311. Сердечник установлен так, чтобы между якорем и полюсом сердечника со стороны оси вращения якоря (при притянутом якоре) был зазор в пределах 0,1—0,2 *мм*. Зазор регулируют, перемещая сердечник вдоль скобы при отпущенных винтах.

Зазор между толкателем и подвижными пластинами переключающих контактов при отпущенном якоре должен быть в пределах 0,8—1 *мм*, а подвижные пластины замыкающих контактов должны лежать на толкателе. Между замыкающими контактами зазор порядка 2,5 *мм*. Регулируют его подгибанием неподвижных контактных пластин.

Давление контактов — в пределах 12—18 *г*. Его можно отрегулировать путем подгибания подвижных контактных пластин. Провал контактов должен быть не менее 0,3 *мм* и обеспечивается зазором 0,3 *мм* между якорем и нижним керном сердечника при замкнутом состоянии всех замыкающих контактов. Язычок скобы, несущей толкатель, при обесточенном реле упирается в сердечник электромагнита реле.

Реле типов РП-321 и РП-341. Сердечник должен быть установлен так, чтобы якорь в притянутом положении нажимал на медную прокладку; между якорем и вторым керном сердечника допускается зазор до 0,2 *мм*. В реле РП-321 при отпущенном якоре зазор между толкателем и подвижными пластинами переключающих контактов — 0,5—0,1 *мм*, а подвижные пластины замыкающих контактов должны опираться на толкатель; зазор между замыкающими контактами должен быть порядка 2,5 *мм*; регулировать его можно подгибанием неподвижных контактных пластин.

В реле РП-341 зазор замыкающих усиленных контактов должен быть в пределах 1,5—2 *мм*, размыкающих — не менее 2 *мм*. При втягивании якоря сначала должен замкнуться замыкающий усиленный контакт и только после этого разомкнуться размыкающий контакт. Для выполнения этого условия в момент замыкания замыкающего контакта между угольником и подвижной контактной пластиной размыкающего контакта должен быть зазор 0,5 *мм*, который регулируется подгибанием угольника.

Зазор между угольником и подвижной пластиной переключающего нормального контакта должен быть в пределах 0,5—0,8 *мм*, а зазор между замыкающими контактами — не менее 1,6 *мм*. При необходимости угольник можно подогнуть.

Давление каждого подвижного контакта переключающих нормальных контактов на неподвижный размыкающий контакт должно быть в пределах 12—18 *г*, а каждой подвижной контактной пластины замыкающего контакта на толкатель — не менее 8 *г*. Контактное давление можно регулировать подгибанием подвижных контактных пластин. Давление подвижной контактной пластины замыкающего усиленного контакта на пружину толкателя должно быть таким, чтобы при отпущенном якоре скоба хвостовика якоря своим язычком упиралась в сердечник. Давление подвижного замыкающего контакта на неподвижный при притянутом якоре должно быть не менее 50 *г*, а давление подвижного размыкающего контакта на неподвижный (при отпущенном якоре) — не менее 30 *г*. Давление можно регулировать подгибанием (на расстоянии не более 3 *мм* от колодок) подвижных контактных пластин. Провал нормальных контактов должен быть не менее 0,3 *мм*, что достигается зазором между сердечником и якорем (при притянутом якоре), замыкающие контакты при этом должны быть замкнуты.

Рис. XVII.47. Схема проверки напряжения и тока срабатывания промежуточного реле.

Реле типов РП-351 и РП-352. В разомкнутом состоянии зазоры между контактами, включенными в цепи катушек реле, должны быть не менее 1,5 *мм*, между рабочими контактами — не менее 2,5 *мм*. Давление контактов должно быть в пределах 9—12 *г*.

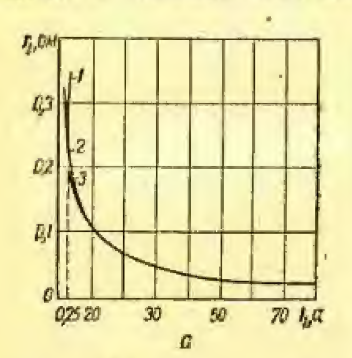
Проверка напряжения (тока) срабатывания и возврата реле. Напряжение (ток) срабатывания и возврата проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.47. Напряжение срабатывания промежуточных реле должно быть не более 70% номинального напряжения реле (для реле РП-25 и РП-26 завод гарантирует напряжение четкого срабатывания, равное 85% $U_н$). Напряжение четкого возврата реле гарантируется заводом не менее 3—5% $U_н$. Для предотвращения ложных срабатываний реле при частичных замыканиях на землю в цепях оперативного тока нижним пределом напряжения срабатывания следует считать 60% $U_н$. Снижение напряжения срабатывания достигается ослаблением противодействующей пружины или уменьшением начального зазора между якорем и сердечником реле. Для двухпозиционных реле РП-351 и РП-352 напряжения срабатывания в обоих направлениях не должны отличаться друг от друга более чем на 10%.

Ток удерживания реле РП-212, РП-213, РП-214, РП-233 при отсутствии напряжения на рабочей обмотке должен быть не менее 80% номинального тока. Напряжение удерживания реле РП-233 при отсутствии тока в токовой обмотке должно быть не более 70% $U_н$.

При необходимости однополярные выводы реле могут быть определены следующим образом. Находят напряжения и токи срабатывания всех параллельных и последовательных обмоток реле. В одну из обмоток подают ток немного меньше, чем ток срабатывания. Остальные обмотки получают ток (напряжение), который плавно изменяется до срабатывания реле.

Если ток (напряжение) срабатывания уменьшился по сравнению с ранее измеренным, зажимы обеих обмоток, присоединенные к одному и тому же полюсу источника питания, являются однополярными, в противном случае эти зажимы— разнополярные.

Реле типов РП-321 и РП-341. Катушка реле включается во вторичную цепь насыщающегося трансформатора через выпрямительный мост, состоящий из германиевых выпрямителей Д7Ж. Для сглаживания пиков перенапряжения во вторичной цепи насыщающегося трансформатора включен конденсатор.



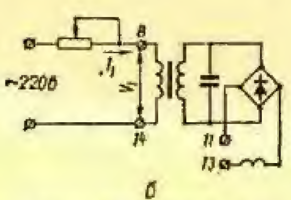


Рис. XVII.48. Зависимость сопротивления реле типов РП-321 и РП-341 от величины переменного тока:

а — кривая зависимости, *б* — схема измерения сопротивления; *1* — зажимы *11—13* разомкнуты; *2* — на зажимы *11* и 13 включены два указательных реле типа РУ-21/0, 025; *3* — зажимы *11* и *13* закорочены.

При последовательном соединении катушек реле должны надежно срабатывать при токе 2,5 *а*, при параллельном соединении ток надежного срабатывания — 5 *а*. Разброс по току срабатывания составляет ± 2%.

На рис. XVII.48 приведены схемы измерения и кривая зависимости сопротивления реле от величины первичного тока. Коэффициент возврата реле РП-341 составляет 0,3—0,5. Величина вторичного тока в реле после дешунтирования должна быть не менее 50% тока срабатывания реле.

Реле допускают длительное протекание по первичной обмотке насыщающегося трансформатора 10 *а* и в течение 4 *сек* тока 150 *а*

Измерение времени срабатывания и возврата промежуточных реле. Схемы измерения времени срабатывания и возврата реле приведены на рис. XVII.49 и XVII.50.

Время срабатывания и возврата реле регулируется при помощи демпферной обмотки, а также натяжением пружины. Демпферная обмотка выполняется у различных типов реле из набора шайб, голого медного или алюминиевого цилиндра или из изолированного провода (в последнем случае концы обмотки могут быть закорочены или выведены на зажимы реле).

Указательные реле типа РУ-21.

При проверке механической части указательных реле типа РУ-21 следует руководствоваться следующим.

Продольный люфт валика — не более 0,5 *мм*; зацепление между зубом скобы подвижной контактной системы и выступом якоря — 1—0,5 *мм*; якорь должен упираться в лапки скобы; зуб скобы подвижной контактной системы не должен задевать зуб притянутого якоря; зазор между ними — в пределах 0,2—0,7 *мм*.

Хвостовик скобы возврата не должен ни при каких условиях упираться в флажок; для надежного нажатия неподвижных контактов на подвижные необходимо, чтобы первые соприкасались с втулкой, когда контакты разомкнуты. Контактная система реле состоит из двух замыкающих контактов, которые позволяют путем перестановки контактных мостиков получить два размыкающих или один замыкающий и один размыкающий контакты.

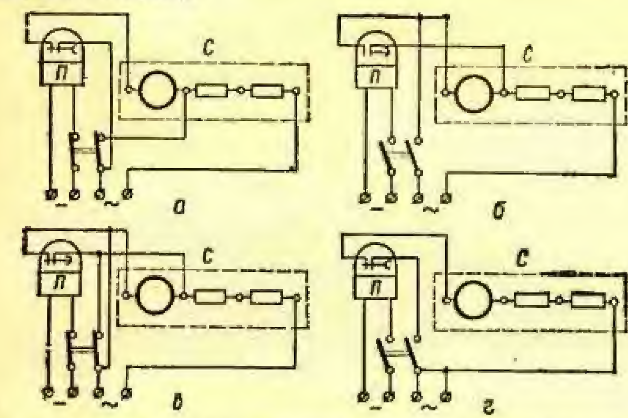


Рис. XVII.49. Схемы проверки времени замедления реле электрическим секундомером:

а — реле с нормально открытыми контактами с выдержкой времени на размыкание; *б* — реле с нормально открытыми контактами с выдержкой времени на замыкание; *в*—реле с нормально закрытыми контактами с выдержкой времени на замыкание; *г* — реле с нормально закрытыми контактами с выдержкой времени на размыкание.

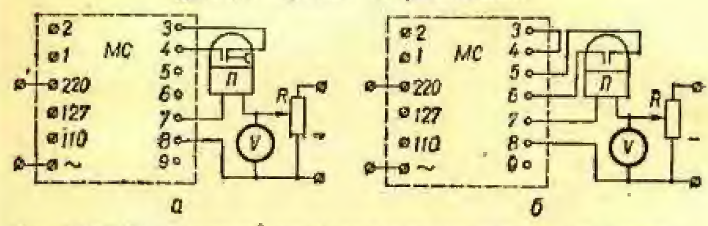


Рис. XVII.50. Схема проверки времени замедления реле миллисекундомером.

Реле с последовательно включенной обмоткой четко срабатывают при токе, равном номинальному, при параллельном включении обмотки необходимо напряжение, равное 60% $U_н$. В первом случае реле длительно выдерживает ток, равный 3 $I_н$, во втором — 1,1 $U_н$.

Реле типа РУ-21 могут быть использованы в цепях переменного тока. В табл. XVII.20 приведены типы реле, используемые в качестве параллельных реле в цепях переменного тока. При выборе реле типа РУ-21 для работы в качестве последовательного в цепях переменного тока необходимо исходить из того, что число ампер-витков для срабатывания реле должно быть не менее 200.

Полное сопротивление обмотки реле Z при частоте 50 *гц* определяется из выражения

$$Z = 3{,}5 \cdot 10^{-5} N^2 \ [ом], \qquad \text{(XVII.19)}$$

где N — число витков обмотки реле.

Таблица XVII.20

Реле указательные постоянного тока, используемые в качестве реле переменного тока

Номинальное напряжение, *в*	Тип	Напряжение срабатывания, *в*	Длительно допустимое напряжение переменного тока, *в*
100	РУ-21/0,015	80	150
127	РУ-21/0,015	80	150
220	РУ-21/0,01	150	250
380	РУ-21/110	280	400

Таблица XVII.21

Обмоточные данные реле РУ-21 разных исполнений

Тип реле	Диаметр провода, *мм*	Число витков	Тип реле	Диаметр провода, *мм*	Число витков
РУ-21/0,01	0,1	18 000	РУ-21/1	1,0	180
РУ-21/0,015	0,12	12 000	РУ-21/2	1,56	90
РУ-21/0,025	0,16	7200	РУ-21/4	2,02	45
РУ-21/0,05	0,25	3600	РУ-21/12	0,21	3400
РУ-21/0,075	0,31	2400	РУ-21/24	0,15	7000
РУ-21/0,1	0,35	1800	РУ-21/48	0,11	14 000
РУ-21/0,15	0,44	1200	РУ-21/110	0,07	32 000
РУ-21/0,25	0,55	720	РУ-21/220	0,05	61 000
РУ-21/0,5	0,8	360			

В табл. XVII.21 приведены обмоточные данные реле РУ-21.

Угол полного сопротивления обмоток реле всех исполнений как в притянутом, так и в отпущенном состоянии якоря порядка 50°.

Реле частоты

Реле частоты типа ИВЧ-3 применяются в схемах автоматической разгрузки по частоте. Действие реле основано на индукционном принципе. Вращающий момент возникает в результате взаимодействия магнитных потоков, создаваемых обмотками статора с токами, наведенными в роторе.

В реле действуют два магнитных потока (рис. XVII.51), сдвинутые друг относительно друга в пространстве и во времени: поток Φ_1, создаваемый контуром LC, в который входят обмотка, расположенная на ярме магнитопровода, и последовательно включенная с нею емкость и поток Φ_2, создаваемый контуром RL, в который входят обмотка, рас-

положенная на полюсах реле, и последовательно включенное с нею добавочное активное сопротивление.

Оба контура включены параллельно на напряжение сети $U_р$, частота которого контролируется. Ток в контуре LC отстает от приложенного напряжения $U_р$ на угол φ_1, ток в контуре RL отстает от $U_р$ на угол φ_2.

Вращающий момент на реле равен разности момента, пропорционального $\sin(\varphi_2 - \varphi_1)$, и противодействующего момента пружины.

При частоте в сети выше частоты уставки в реле создается тормозной момент, так как $\sin(\varphi_2 - \varphi_1) < 0$. При понижении частоты в сети индуктивное сопротивление реле уменьшается, а емкостное увеличивается. Угол φ_1 при этом уменьшается быстрее, чем угол φ_2, и оказывается меньше последнего, в результате чего момент на роторе реле становится положительным, действующим в сторону срабатывания реле. При некоторой частоте момент на реле становится больше противодействующего момента пружины, и реле замыкает контакты.

Напряжение, частота которого контролируется, подается на реле через клеммы 7—8. В реле предусмотрена дополнительная клемма 6 для возможности использования реле в схемах автоматического повторного включения.

Рис. XVII.51. Магнитная система реле типа ИВЧ-3.

Поскольку реле имеет колебательный (LC) и апериодический (RL) контуры, оно может кратковременно замыкать свои контакты при частоте, превышающей частоту уставки при подаче на реле напряжения толчком или при резких колебаниях напряжения. Для предотвращения неселективных действий в схеме применяется промежуточное реле со временем действия не менее 0,03 *сек*.

При включении нового реле в эксплуатацию необходимо его проверить. Зазоры между стаканчиком ротора и полюсами магнитопровода должны быть свободны от пыли и посторонних предметов. Осевой (вертикальный) люфт оси ротора в подшипниках —0,2—0,3 *мм* (на глаз).

Торцовая поверхность нижней (утолщенной) части стаканчика отстоит от нижней опорной пластинки на 1—2 *мм*. При этом между верхней кромкой утолщенной части стаканчика и нижней плоскостью полюсов магнитопровода зазор не менее 0,5 *мм*.

Ротор реле должен свободно поворачиваться в подшипниках вручную до полного замыкания контактов и свободно возвращаться в исходное положение под действием пружины. Рабочие поверхности контактов должны быть чистыми и хорошо отполированными.

Расположение подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом состоянии и после срабатывания показано на рис. XVII.52. Не допускается шаткость или проворачивание на оси ротора контактодержателя подвижного контакта.

Уставки на частоту срабатывания проверяются при номинальном напряжении 100 *в*. Так как стальной кожух оказывает некоторое

влияние на параметры реле, калибровку его надо проверять с надетым кожухом после прогрева реле номинальным напряжением в течение не менее 1 *ч*.

Рис. XVII.52. Взаимное расположение контактов и постоянного магнита реле типа ИВЧ-3.

Перемещая движок регулируемого сопротивления вправо из крайнего левого положения, проверяют точность каждой уставки на частоту в диапазоне 45—46,5 *гц* (перемычка на клеммах *5* и *7* снята), затем, зашунтировав часть сопротивления перемычкой на клеммах *5* и *7*, возвращают движок влево, проверяют уставку 46,5 *гц* на нижней шкале, а затем и все уставки до 49 *гц*. Последней соответствует минимальная величина добавочного сопротивления, введенного в контур *RL*.

При номинальном напряжении и температуре +20° С точность уставки на частоту срабатывания — 0,2 *гц* (на любой уставке). Уставки проверяют на частоту срабатывания при питании реле от любого источника напряжения промышленной частоты, допускающего плавную регулировку частоты в пределах 40—55 *гц* (рис. XVII.53).

Мощность источника промышленной частоты должна быть такова, чтобы в диапазоне 50—130 *в* кривая выходного напряжения имела синусоидальную форму (допустимое искажение формы кривой напряжения не должно превышать 5% и может контролироваться по катодному осциллографу на глаз).

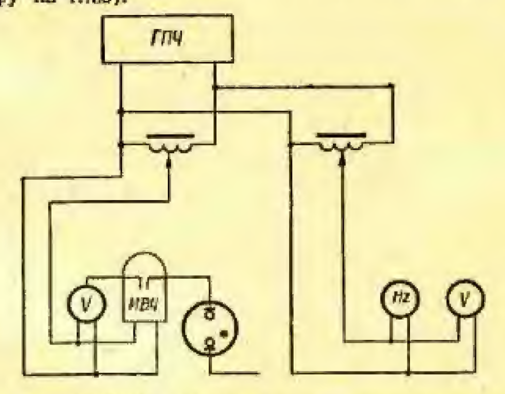


Рис. XVII.53. Схема проверки уставок реле частоты:

ГПЧ — генератор промышленной частоты.

Высшие гармоники в напряжении, подаваемом на зажимы реле, снижают четкость работы контактов (вызывают их вибрацию) и увеличивают разброс.

При проверке реле рекомендуется пользоваться стрелочным частотомером класса 0,2—0,5. Коэффициент возврата реле составляет примерно 1,01. Потребляемая мощность реле при номинальном напряжении — около 10 *ва*.

Реле частоты типа ИВЧ-015 применяется в схемах защиты и автоматики в тех случаях, когда требуется контроль повышения частоты. По принципу действия и конструкции реле типа ИВЧ-015 аналогично рассмотренному выше реле типа ИВЧ-3. Проверка и настройка реле ИВЧ-015 проводится так же, как и реле ИВЧ-3.

Коэффициент возврата реле составляет примерно 0,99. Потребляемая мощность реле при номинальном напряжении составляет около 16 *ва*.

Реле контроля синхронизма типа РН-55

Реле контроля синхронизма типа РН-55 применяются в схемах АПВ линий с двусторонним питанием для выявления напряжения на линии и угла сдвига фаз между векторами напряжений на линии и на шинах подстанции, а также в схемах блокировки от неправильной синхронизации генераторов. Реле реагирует на геометрическую разность векторов напряжений, подводимых к обмоткам реле. Реле имеют несколько исполнений, отличающихся номинальным напряжением обмоток.

Механическую часть реле проверяют в соответствии с указаниями по проверке реле серии РН-50.

Электрические характеристики реле проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.54. Для проверки правильности внутренних соединений реле рубильник устанавливают в положение *а*; при этом оно не должно срабатывать. Затем рубильник переводится в положение *б*; при номинальных величинах напряжений на обмотках реле фазорегулятором изменяется угол сдвига между напряжениями, подаваемыми на обмотки реле. Когда угол между векторами напряжений оказывается больше угла уставки, реле срабатывает, а при уменьшении угла до значения угла уставки реле возвращается в исходное положение. Углом срабатывания (возврата) считается полусумма углов срабатывания (возврата) реле при изменении угла в обе стороны (опережения и отставания). Коэффициент возврата реле по углу при номинальном напряжении — не менее 0,8.

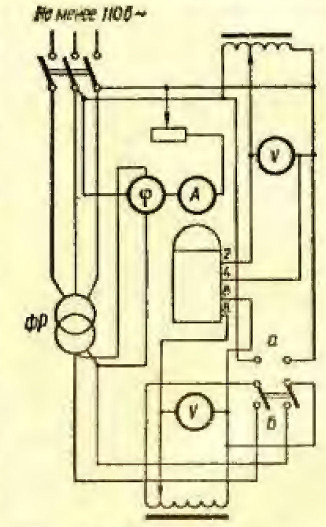


Рис. XVII.54. Схема испытания реле типа РН-55:

а — положение рубильника для проверки монтажа реле; *б* — положение рубильника для проверки калибровки реле.

Настройку реле можно выполнить без фазорегулятора. Для этого на каждую из обмоток поочередно подается напряжение, которое плавно снижается до величины

$$U_p = 2U_н \sin \frac{\alpha}{2} \ [в], \qquad (XVII.20)$$

где $U_н$ — номинальное напряжение обмоток реле; α — угол уставки реле.

При этом напряжении реле должно возвратиться в исходное положение.

Реле повторного включения типов РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358

Реле РПВ-58 предназначено для применения в схемах трехфазного автоматического повторного включения однократного действия. Схема внутренних соединений реле приведена на рис. XVII.55. Реле состоит из следующих элементов: а) элемента времени *РВ*, создающего выдержку времени от пуска *АПВ* до замыкания цепи включающей катушки выключателя; б) промежуточного реле *РП* типа КДР-1, дающего импульс на включение выключателя; в) емкости *С*, обеспечивающей однократность действия *АПВ*; г) зарядного сопротивления R_2, предназначенного для ограничения скорости заряда емкости *С*, чем предотвращается многократное включение выключателя при неуспешном *АПВ*; д) добавочного сопротивления R_1, предназначенного для создания термической устойчивости *РВ*; е) сопротивления R_3, через которое происходит разряд емкости при наличии защит, действие которых не должно сопровождаться действием *АПВ* (запрет *АПВ*).

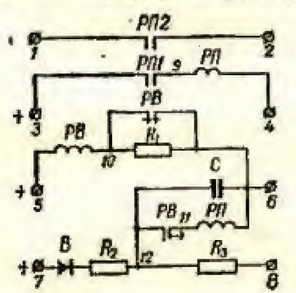


Рис. XVII.55. Схема внутренних соединений устройства повторного включения типов РПВ-58 и РПВ-358:

РП — реле промежуточное типа КДР-1; *РВ* — механизм реле времени типа ЭВ-134; *С* — конденсатор; R_1, R_2, R_3 — сопротивления; *В* — диод, устанавливаемый только в РПВ-358; в РПВ-58 сопротивление R_2 подсоединяется непосредственно к зажиму 7.

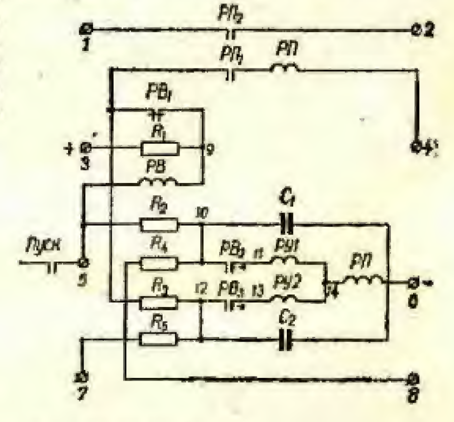


Рис. XVII.56. Схема внутренних соединений устройства повторного включения типа РПВ-258:

РП — промежуточное реле типа КДР-1; *РВ* — механизм реле времени типа ЭВ-142; *РУ1* и *РУ2* — реле указательные типа ЭС41 (с одной катушкой); C_1, C_2 — конденсаторы; R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 — сопротивления.

Реле типа РПВ-358, имеющее то же назначение, что и реле РПВ-58, но в схемах на оперативном переменном токе, отличается от последнего наличием в цепи заряда конденсатора *С* диода *В*. Указанный диод предотвращает разряд конденсатора *С* при понижениях напряжения на блоке питания.

Реле типа РПВ-258 предназначено для применения в схемах трехфазного автоматического повторного включения двукратного действия. Схема внутренних соединений реле приведена на рис. XVII.56.

Реле типа РПВ-258 по построению и принципу действия в основном аналогично реле типа РПВ-58. Для осуществления первого цикла *АПВ* используется проскальзывающий контакт элемента времени *РВ*, а для второго — основной контакт с выдержкой времени.

Наладка реле типов РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358 сводится к проверке и регулировке составных элементов и их взаимодействия. При проверке и регулировке реле *РП* необходимо убедиться, что номинальный ток, удерживающий катушки реле, соответствует потреблению последовательно включенного аппарата в схеме управления выключателем; якорь реле должен удерживаться в притянутом состоянии при прохождении через удерживающую катушку тока, равного 90% номинального. Прогиб открытых и закрытых контактов — около 0,5 *мм*; междуконтактный зазор — 1,5—1,8 *мм*.

Реле времени проверяют в соответствии с указаниями по проверке реле времени, приведенными в настоящей главе.

Для определения времени заряда конденсатора *С* в реле РПВ-58 и РПВ-258 к зажимам *6—7* прикладывается напряжение оперативного тока. Через 30—35 *сек* напряжение отключается и замыканием вручную контактов реле времени *РВ* создается контур для разряда конденсатора *С* через обмотку кодового реле. Время заряда конденсатора сокращают постепенно, пока заряд конденсатора не окажется недостаточным для срабатывания кодового реле. Полученное время и принимается минимально необходимым для заряда конденсатора, оно должно быть в пределах 15—25 *сек*.

При необходимости время регулируется положением фиксирующего винта кодового реле, изменяющего нажатие на контактную систему реле и, следовательно, напряжение его срабатывания. При подведении к реле напряжения, равного 80% номинального, реле *РП* должно сработать (при замыкании контактов реле времени) через время, не превышающее 2 *мин*.

При проверке реле типа РП-258 таким же образом определяется время заряда каждого из конденсаторов *С1* и *С2* при подведении к реле номинального напряжения и 80% номинального. Это время должно находиться в пределах 60—100 *сек* при номинальном напряжении и 3,5 *мин* — при напряжении, равном 80% номинального.

Блоки питания

Блоки питания предназначаются для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты, сигнализации и управления, выполненной на номинальные напряжения 24—220 *в*.

В объем наладочных работ блоков питания входят испытание изоляции, проверка выпрямителей, измерение величин тока наступления феррорезонанса (для блоков типа БПТ) и средних значений выходных напряжений.

Сопротивление изоляции блоков питания между любыми электрически не связанными токоведущими частями, а также между ними и корпусом блока при температуре окружающего воздуха +20 ± 5° С и относительной влажности до 80% составляет не менее 10 *Мом*. Электрическая изоляция всех цепей блоков питания относительно корпуса выдерживает в течение 1 *мин* испытательное напряжение 2000 *в* при промышленной частоте. Изоляция между разными обмотками одной катушки блока выдерживает в течение 1 *мин* испытательное напряжение 500 *в* при промышленной частоте.

Методика проверки выпрямителей (и их формовки при необходимости) приведена в гл. XVI.

Блоки питания серии БП-11

Принципиальные схемы блоков питания серии БП-11 приведены на рис. XVII.57 и XVII.58.

Блоки питания серии БП-11 рассчитаны на питание аппаратуры с потребляемой мощностью 20—25 *вт*.

Рис. XVII.57. Принципиальная схема блоков питания типов БПН 11/1 и БПН 11/2.

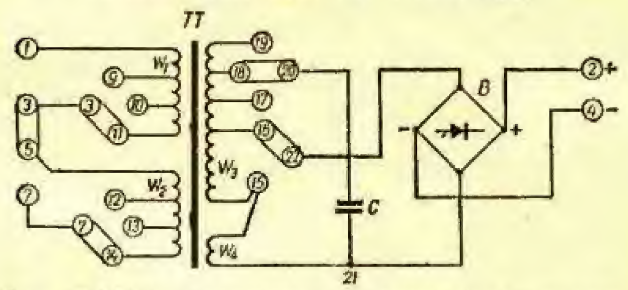


Рис. XVII.58. Принципиальная схема блока питания типа БПТ-11.

Блок питания типа БПТ-11 состоит из промежуточного насыщающегося трансформатора с выпрямительным мостом на выходе. Параллельно вторичной обмотке трансформатора включена емкость, которая

вместе с ветвью намагничивания трансформатора осуществляет феррорезонансную стабилизацию напряжения на выходе блока. Вторичная обмотка блока типа БПТ-11 имеет ответвления на напряжения 24 и 110 *в* (рис. XVII.59).

Рис. XVII.59. Положение перемычек при различных напряжениях выхода и уставках тока блока БПТ-11:

а — напряжение выхода 110 *в*; *б* — напряжение выхода 24 *в*; *в* — уставки тока наступления феррорезонанса.

Блоки питания типов БПН-11/1 и БПН-11/2 состоят из двух элементов, каждый из которых представляет собой промежуточный трансформатор напряжения с выпрямительным мостом на выходе.

Первичные обмотки промежуточных трансформаторов состоят из двух секций, включаемых последовательно и параллельно в зависимости от величины входного напряжения (220 или 110 *в* соответственно). Вторичные обмотки промежуточных трансформаторов выполнены с двумя отпайками. Отпайки с минимальным числом витков, как правило, используются при включении блока на симметричное трехфазное напряжение по схеме открытого треугольника для питания устройств защиты и сигнализации однофазных замыканий на землю. Отпайка от среднего числа витков и вся вторичная обмотка используются при двухфазном питании блоков.

Рис. XVII.60. Положение перемычки на плите трансформатора блока БПТ-11:

а — при токе наступления феррорезонанса, близком к току уставки; *б* — при токе наступления феррорезонанса, превышающем уставку более чем на 10%, *в* — при токе наступления феррорезонанса, меньшем уставки более чем на 10%.

Уставки на ток надежной работы блока питания типа БПТ-11 (под током надежной работы понимается ток на входе блока, при котором выходное напряжение равно минимально допустимому) составляют: 5; 7,5; 10 *а*. Для изменения уставок на первичной обмотке насыщающегося трансформатора предусмотрены отпайки. Положение перемычек для различных уставок тока показано на рис. XVII.59. На вторичной обмотке насыщающегося трансформатора предусмотрены отпайки для компенсации ухода тока начала феррорезонанса в случае изменения емкости на ± 10% (рис. XVII.60).

Таблица XVII.22

Величина выходного напряжения блока типа БПТ-11

Номинальное напряжение выхода, *в*	Сопротивление нагрузки, *ом*	Выходное напряжение, *в*
110	∞	⩽118
	600	⩾ 92
24	∞	⩽ 27
	30	⩾ 20

Ток начала феррорезонанса измеряют при плавном увеличении первичного тока и без нагрузки (форма кривой первичного тока должна быть синусоидальной). При протекании тока по одной из первичных обмоток феррорезонанс наступает при токе, отличающемся от тока уставки не более чем на ± 10%. При последовательном соединении

первичных обмоток ток начала феррорезонанса снижается в два раза. Момент начала феррорезонанса определяется по резкому броску напряжения на выходе блока питания.

Измерение величины выходного напряжения блока типа БПТ-11 производится при протекании тока, равного 120% тока уставки, по двум последовательно соединенным первичным обмоткам насыщающегося

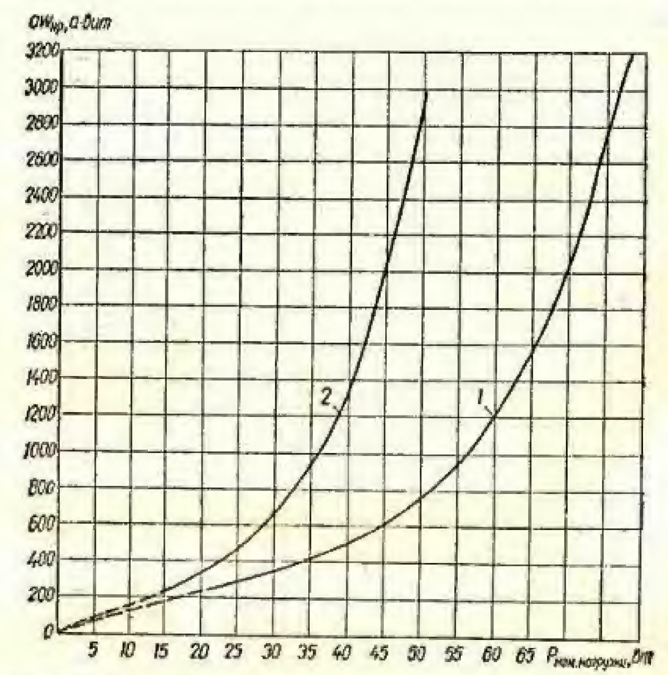


Рис. XVII.61. Зависимость числа ампер-витков, необходимых для надежной работы, от номинальной мощности нагрузки блока типа БПТ-11 при $U_{вых} = [80\% U_{ном.вых}] = \text{const}$:

1 — $U_{ном.вых} = 24$ *в*; *2* — $U_{ном.вых} = 110$ *в*.

трансформатора. Величины выходного напряжения должны соответствовать данным табл. XVII.22.

Выходное напряжение следует измерять прибором магнитоэлектрической системы.

На рис. XVII.61 приведена зависимость ампер-витков надежной работы блока БПТ-11 от величины нагрузки. Блок питания типа БПТ-11 допускает протекание 15-кратного тока уставки в течение 3 *сек* при сопротивлении нагрузки 200 *ом* и номинальном напряжении выхода 110 *в*, а также при сопротивлении нагрузки 10 *ом* и при номинальном напряжении выхода 24 *в*.

В длительном режиме работы блок питания допускает протекание тока 9,5 *а* по последовательно соединенным первичным обмоткам; при

Таблица XVII.23

Величина выходного напряжения элементов блоков типа БПН-11

Блок питания	Номинальное напряжение выхода, *в*	Сопротивление нагрузки, *ом*	Выходное напряжение, *в*	
			Отпайка II или V	Отпайка III или VI
БПН-11/1	110	∞ 300 200	≤140 ≥ 90 ≥ 80	≤160 ≥100 ≥ 90
БПН-11/2	24	∞ 25 10	≤ 28 ≥ 20 ≥ 17	≤ 32 ≥ 23 ≥ 19

Таблица XVII.24

Величина выходного напряжения блоков типа БПН-11

Тип блока питания	Сопротивление нагрузки, *ом*	Выходное напряжение (отпайки I, IV), *в*
БПН-11/1	∞ 1300 350	≤120 ≤115 ≥ 95
БПН-11/2	∞ 500 50	≤ 30 ≤ 28 ≥ 24

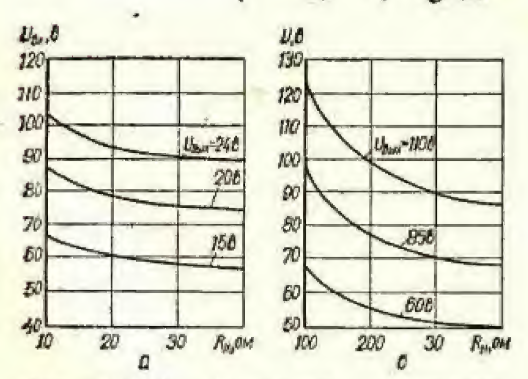


Рис. XVII.62. Зависимость напряжения надежной работы от сопротивления нагрузки для одного элемента:

а — блок типа БПН-11/2; *б* — блок типа БПН-11/1.

этом ток нагрузки не должен превышать 0,2 *а* при номинальном напряжении выхода 110 *в* и 0,35 *а* при номинальном напряжении выхода 24 *в*.

Величины выходного напряжения каждого элемента блока типа БПН-11 при подведении напряжения 105 *в* приведены в табл. XVII.23. Величины выходного напряжения при питании блока симметричным трехфазным напряжением 105 *в* (включение блока по схеме открытого треугольника и параллельное включение секций первичной обмотки трансформатора блока) приведено в табл. XVII.24.

Потребление каждого элемента блока питания типа БПН-11 при номинальном входном напряжении в режиме холостого хода не превышает 9 *ва*. Блоки питания типа БПН-11 в длительном режиме работы выдерживают напряжение, равное 110% номинального входного напряжения; при этом ток в нагрузке не должен превышать 0,5 *а* при номинальном напряжении выхода 24 *в* и 0,15 *а* при номинальном напряжении выхода 110 *в*.

На рис. XVII.62 приведены зависимости напряжения надежной работы блоков БПН-11 от сопротивления нагрузки.

Таблица XVII.25

Выбор числа витков первичной обмотки трансформатора при включении блоков типа БПТ-101/1 и БПТ-101/2 на встроенные трансформаторы тока

Номинальный ток присоединения, *а*	Коэффициент трансформации трансформатора тока	Число витков первичной обмотки блока питания
150	150/5	130
200	200/5	175
300	300/5	220

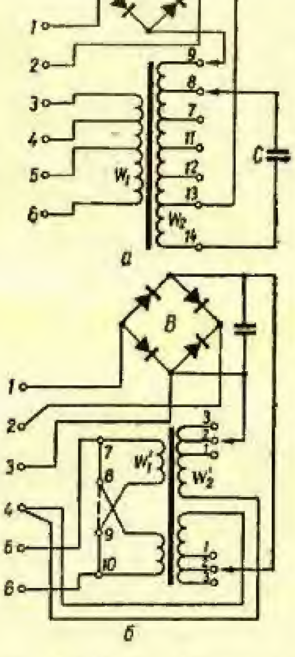


Рис. XVII.63. Принципиальная схема блоков питания:

а — типов БПТ-101/1 и БПТ-101/3; *б* — типа БПН-101/1.

Блоки питания серии БП-101

Принципиальные схемы блоков питания серии БП-101 приведены на рис. XVII.63. Блоки рассчитаны на мощность 160—240 *вт* в кратковременном режиме работы.

В блоках типа БПТ-101/1 и БПТ-101/2 на первичной обмотке насыщающегося трансформатора предусмотрены ответвления, предназначенные для включения блоков на встроенные трансформаторы тока ТВ-35 и ТВД-35 в соответствии с табл. XVII.25. Блоки питания типов БПТ-101/3 и БПТ-101/4 присоединяются к трансформаторам тока, отдаваемая мощность которых при двукратном номинальном токе составляет не менее 500 *ва*; в этих блоках на первичной обмотке насыщающегося трансформатора предусмотрены ответвления, позволяющие включать их на различные трансформаторы тока.

Блоки питания типа БПН-101 предназначены для включения либо на измерительные трансформаторы напряжения, либо в сеть собственных нужд. Для включения блоков питания типа БПН-101 на номинальное напряжение 110 *в* (100, 127 *в*) или 220 *в* предусмотрена возможность параллельного или последовательного соединения секций первичной обмотки промежуточного трансформатора, причем на каждой секции вторичной обмотки промежуточного трансформатора имеются отпайки, позволяющие получать на выходе номинальное напряжение при подведении к блоку напряжения 127, 110 и 100 *в*. В блоках типа БПН-101 предусмотрен вывод на выходной зажим одного полюса вторичной обмотки промежуточного трансформатора для выполнения на двух блоках трехфазной мостовой схемы выпрямления.

Таблица XVII.26

Токи наступления феррорезонанса блоков питания БПТ-101

Типы блока питания	Зажимы на зажимной колодке	Число витков	Ток наступления феррорезонанса, *а*
БПТ-101/1, БПТ-101/2	*6* и *5*	130	7,85±0,4
	6 и *4*	175	5,85±0,3
	6 и *3*	220	4,65±0,2
БПТ-101/3, БПТ-101/4	*6* и *5*	50	20,4±1
	6 и *4*	75	13,6±0,7
	6 и *3*	100	10,2±0,5

Таблица XVII.27

Средние значения выходных напряжений блоков питания типа БПТ-101

Блоки питания	Число витков (зажимы *6* и *3*)	Первичный ток, *а*	Номинальное напряжение выхода, *в*	Сопротивление нагрузки, *ом*	Среднее значение выходного напряжения, *в* (зажимы *1* и *2*)	
					нагрузка	холостой ход
БПТ-101/1	220	5,7	110	50	≥ 94	≤130
БПТ-101/2	220	5,7	24	3,5	≥ 20	≤ 31
	220	5,7	48	14	≥ 40	≤ 62
БПТ-101/3	100	12,5	110	50	≥ 94	≤130
БПТ-101/4	100	12,5	24	2,5	≥ 20	≤ 31
	100	12,5	48	10	≥ 40	≤ 62

Ток начала феррорезонанса измеряют при плавном увеличении первичного тока и отсутствии нагрузки (форма кривой первичного тока должна быть синусоидальной). Величины токов наступления феррорезонанса блоков питания типа БПТ-101 приведены в табл. XVII.26.

Момент начала феррорезонанса определяется по резкому скачку напряжения на выходе блока питания. Необходимый ток начала феррорезонанса обеспечивается выбором отпайки вторичной обмотки насыщающегося трансформатора, присоединяемой к конденсатору.

Величины среднего значения напряжения на выходе блоков питания типа БПТ-101 в режиме нагрузки и холостого хода приведены

Таблица XVII.28

Средние значения выходного напряжения блока типа БПН-101/1

Положение перемычек на зажимных колодках	Положение штырей на переключателях	Напряжение, в, на зажимах: 5 и 6	1 и 2
7—8 и 9—10	8—8	100	⩽ 130
	2—2	110	
8—9	1—1	127	
	2—2	220	

Таблица XVII.29

Среднее выходное напряжение блока типа БПН-101/2

Положение перемычек на зажимных колодках	Положение штырей на переключателях	Входное напряжение, в (зажимы 5—6)	Номинальное напряжение, в	Выходное напряжение, в (зажимы 1—2)
7—8; 9—10; 11—12; 13—14	8—8 2—2 1—1	100 110 127	24	⩽30
7—8; 9—10; 12—13 8—9; 12—13	8—8 2—2	100 220	48	⩽60

в табл. XVII.27. При проведении измерений нагрузка должна подключаться на время не более 5 *сек*. Выходное напряжение измеряют прибором магнитоэлектрической системы. Необходимое напряжение на выходе обеспечивается выбором отпаек вторичной обмотки насыщающегося трансформатора.

Величины среднего значения напряжения на выходе блоков питания типа БПН-101/1 и БПН-101/2 при холостом ходе приведены в табл. XVII.28 и XVII.29.

Блоки питания серии БП-1002

Принципиальные схемы блоков питания серии БП-1002 приведены на рис. XVII.64 и XVII.65. Блоки рассчитаны на мощность 800—1500 *вт* в кратковременном режиме. Блок питания типа БПТ-1002 состоит из

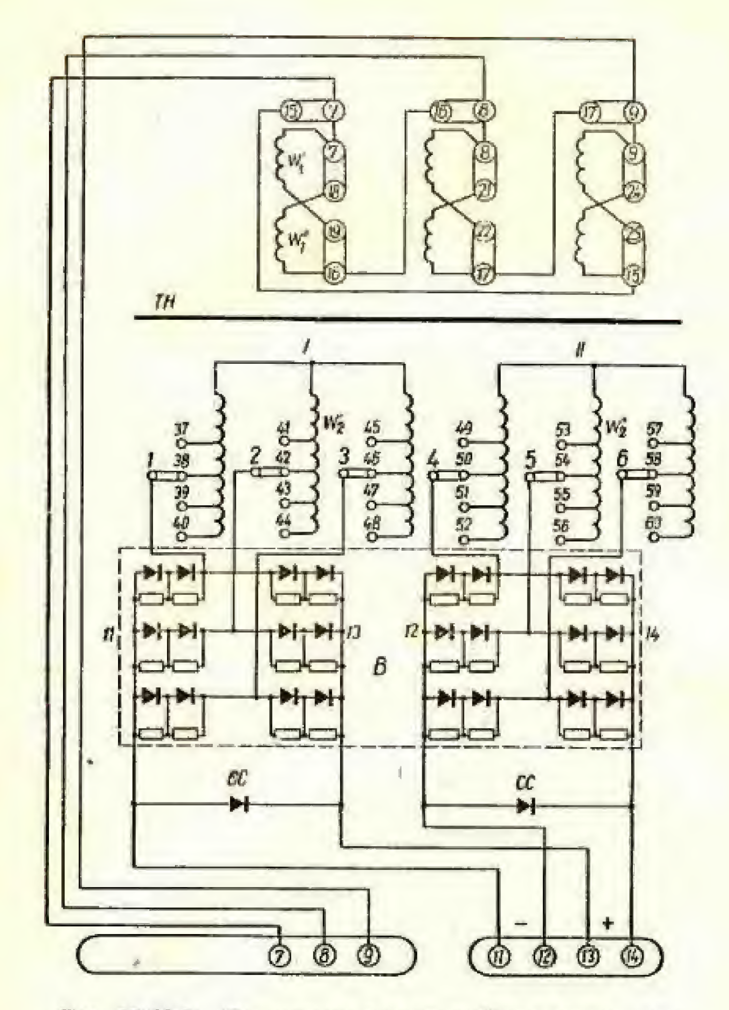


Рис. XVII.64. Принципиальная схема блока питания типа БПН-1002.

насыщающегося трансформатора тока с мостом из кремниевых выпрямителей на выходе. Для снижения амплитудных значений напряжения на выходе, а также для стабилизации его среднего значения параллельно вторичной обмотке насыщающегося трансформатора включаются емкость и дроссель, образующие с ветвью намагничивания трансформатора феррорезонансный контур. Блок питания типа БПН-1002 состоит из промежуточного трансформатора напряжения и двух трехфазных мостов из кремниевых выпрямителей на выходе.

Параллельно мостам для защиты кремниевых выпрямителей от коммутационных перенапряжений во вторичных цепях включены селеновые столбы, используемые в качестве нелинейных сопротивлений.

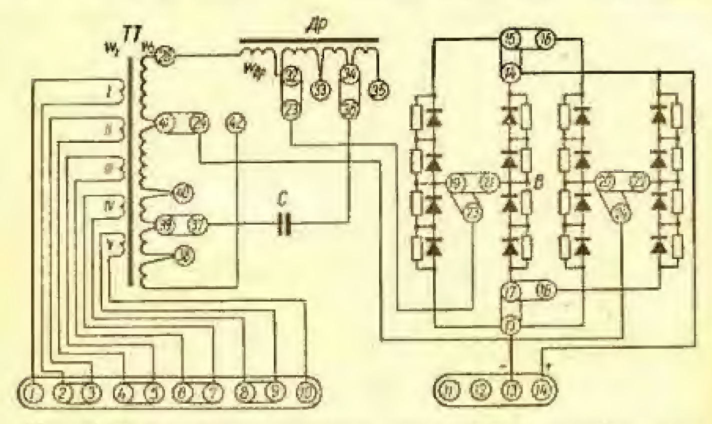


Рис. XVII.65. Принципиальная схема блока питания типа БПТ-1002. (Положение перемычек на схеме показано для номинального выходного напряжения 110 *в* и номинального значения емкости 100 *мкф*.)

На первичной обмотке трансформатора блока БПТ-1002 предусмотрены ответвления, предназначенные для подключения к трансформаторам тока различных типов в соответствии с табл. XVII.30.

Для создания возможно более легких режимов работы трансформаторов тока и блока необходимо выбирать наименьшее число витков первичной обмотки блока питания. Так, если указанный в табл. XVII.30 ток окажется меньше минимального тока короткого замыкания в защищаемой цепи, целесообразно уменьшить число витков первичной обмотки трансформатора блока, определив его по формуле

$$w_1 = \frac{w_1 I_{н.р} k_з}{I_{к.мин}}, \qquad (XVII.21)$$

где w_1 — искомое число витков первичной обмотки трансформатора блока; w_1 и $I_{н.р}$ — число витков первичной обмотки и ток надежной работы, принимаемые по табл. XVII.30; $k_з$ — коэффициент запаса, равный 1,5—2,0; $I_{к.мин}$ — минимальный ток короткого замыкания в защищаемой цепи.

Для первичной обмотки трансформатора блока питания типа БПТ-1002, включаемого на трансформаторы тока, не указанные в табл. XVII.30, число витков выбирают следующим образом. Вольтамперная характеристика трансформатора тока (снятая экспериментально, взятая из паспортных данных или построенная расчетным путем) сравнивается с семейством вольтамперных характеристик ненагруженного блока БПТ-1002, снятых со стороны входа (рис. XVII.66). Число витков первичной обмотки трансформатора блока выбирается таким образом, чтобы вольтамперная характеристика трансформатора тока проходила выше вольтамперной характеристики блока при токах более 5 *а*.

Таблица XVII.30

Выбор отпаек первичной обмотки трансформатора блоков питания БПТ-1002 и БПТ-1001 в зависимости от типа трансформатора тока

Тип трансформатора тока	Коэффициент трансформации	Класс сердечника	Число витков в блоке	Первичный ток надежной работы при $R_н = 20$ ом	Первичный ток надежной работы при $R_н = 10$ ом
ТПОЛ-10	600/5; 1000/5	Р	50	4 $I_н$	8 $I_н$
	800/5; 1500/5	Р	75	2,7 $I_н$	5,4 $I_н$
ТПЛ-10	400/5 Остальные	Р Р	75 50	2,7 $I_н$ 4 $I_н$	5,4 $I_н$ 8 $I_н$
ТВ-35 * ТВД-35 *	600/5 300/5	— —	125 75	1000 *а* 1000 *а*	2000 *а* 2000 *а*
ТВ-35МКП * ТВД-35МКП *	1500/5 1000/5 750/5 600/5	— — — —	200 200 175 125	1500 *а* 1000 *а* 850 *а* 850 *а*	3000 *а* 2000 *а* 1700 *а* 1700 *а*
ТВ-110 ТН-110	1000/5 750/5 400/5 300/5 200/5	— — — — —	200 200 200 175 100	1000 *а* 750 *а* 500 *а* 500 *а* 500 *а*	2000 *а* 1500 *а* 1000 *а* 1000 *а* 1000 *а*
ТФН-35$_{0,5/3}$	— —	0,5 3	200 100	$I_н$ 2 $I_н$	2 $I_н$ 4 $I_н$
ТФНУД-35$_{Д/0,5}$	—	Д	200	$I_н$	2 $I_н$
ТФНД-35$_{Д/0,5}$	—	0,5	125	1,6 $I_н$	3,2 $I_н$
ТФНД-110$_{Д/1}$	— —	Д 1	200 125	$I_н$ 1,6 $I_н$	2 $I_н$ 3,2 $I_н$
ТФНД-110$_{Д/Д/0,5}$	— — —	$Д_1$ $Д_2$ 0,5	175 100 75	1,2 $I_н$ 2 $I_н$ 2,5 $I_н$	2,4 $I_н$ 4 $I_н$ 5 $I_н$

Тип трансформатора тока	Коэффициент трансформации	Класс сердечника	Число витков в блоке	Первичный ток надежной работы	
				при $R_н = 20$ *ом*	при $R_н = 10$ *ом*
ТПОФ-10	600/5	0,5; Д	150	1,3 $I_н$	2,6 $I_н$
		1	100	2 $I_н$	4 $I_н$
		3	50	4 $I_н$	8 $I_н$
	750/5	0,5; Д	150	1,3 $I_н$	2,6 $I_н$
		1	75	2,5 $I_н$	5,0 $I_н$
	1000/5	0,5; Д	150	1,3 $I_н$	2,6 $I_н$
		1	75	2,5 $I_н$	5 $I_н$
	1500/5	0,5; Д	150	1,3 $I_н$	2,6 $I_н$
		3	75	2,5 $I_н$	5 $I_н$
ТПФ-10	—	Д	100	2 $I_н$	4 $I_н$
		0,5; 1; 3	50	4 $I_н$	8 $I_н$
	—	0,5; 1; 3; Д	50	4 $I_н$	8 $I_н$
ТПШФ-10	2000/5 и	Д; 05	200	$I_н$	2 $I_н$
	3000/5	3	50	4 $I_н$	8 $I_н$

* При номинальных токах присоединения, меньших чем 300 *а* (или 600 *а*), ответвление от трансформатора берется максимальным

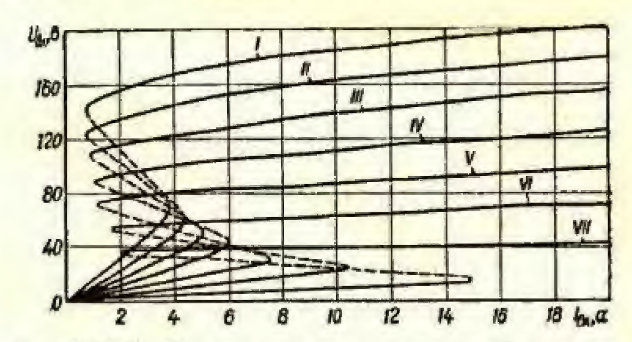


Рис. XVII.66. Входные вольтамперные характеристики ненагруженного блока питания типа БПТ-1002:
I — $W_1 = 200$ витков; *II* — $W_1 = 175$ витков; *III* — $W_1 = 150$ витков; *IV* — $W_1 = 125$ витков; *V* — $W_1 = 100$ витков; *VI* — $W_1 = 75$ витков; *VII* — $W_1 = 50$ витков.

Для получения на выходе блока напряжения 110 или 220 *в* выпрямленного тока необходимо выполнить переключения на плите дросселя, используя при этом соответствующие ответвления на вторичной обмотке трансформатора и на обмотке дросселя (рис. XVII.67). Блоки питания типа БПН-1002 включаются на измерительные трансформаторы напряжения или в сеть собственных нужд.

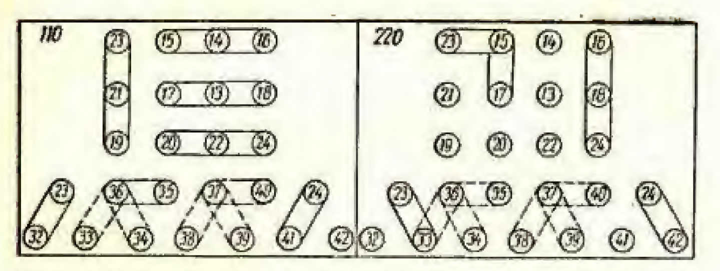


Рис. XVII.67. Положение перемычек на плите дросселя для различного напряжения выхода блока типа БПТ-1002. (Перемычки *37—38*; *37—39*; *37—40*; *36—33*; *36—34* служат для регулировки тока феррорезонанса, положение их устанавливается на заводе.)

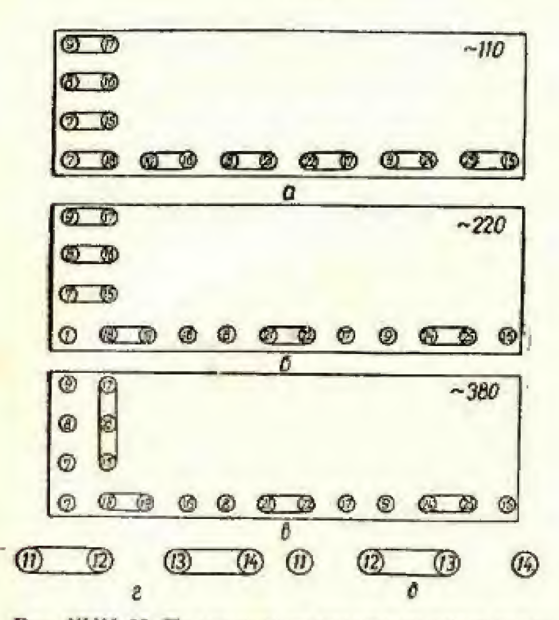


Рис. XVII.68. Положение перемычек на плите трансформатора блока типа БПН-1002 для номинального напряжения входа 110 *в* (*а*); 220 *в* (*б*); 380 *в* (*в*) и положение перемычек на выходе блока для номинального напряжения выхода 110 *в* (*г*); 220 *в* (*д*).

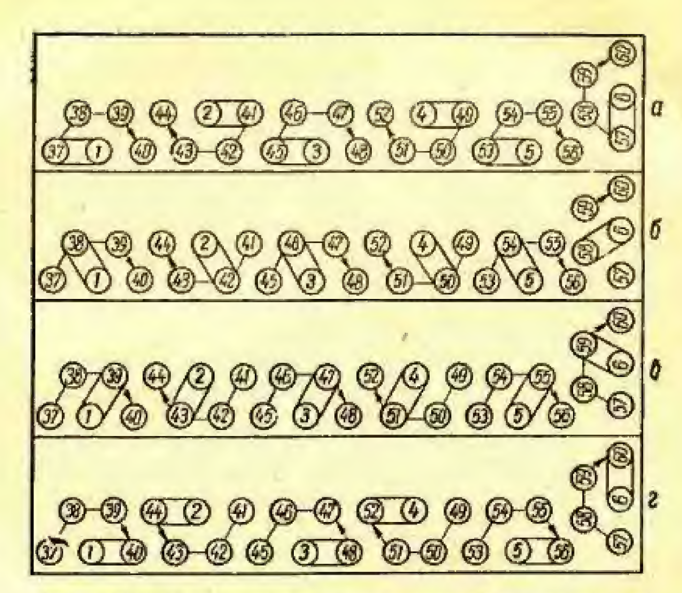


Рис. XVII.69. Положение переключателей вторичных витков трансформатора блока типа БПН-1002 при включении на различные входные напряжения:

а — 127 *в*; *б* — 110 *в*; *в* — 100 *в*; *г* — менее 100 *в*.

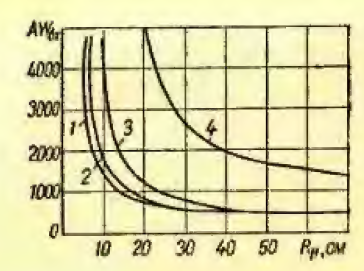


Рис. XVII.70. Зависимость числа витков, необходимых для надежной работы блока типа БПТ-1002 от сопротивления нагрузки при постоянном выходном напряжении (напряжение выхода 110 *в*; при 220 *в* сопротивление увеличивается в 4 раза):

1 — $U_{вых} = 0{,}73\ U_{ном.вых}$; *2* — $U_{вых} = 0{,}8\ U_{ном.вых}$; *3* — $U_{вых} = 0{,}9\ U_{ном.вых}$; *4* — $U_{вых} = U_{ном.вых}$.

Для включения блока на номинальные напряжения 110, 220 или 380 *в* предусмотрена возможность параллельного и последовательного соединения секций первичных обмоток каждой фазы трансформатора и включения их в звезду или треугольник (рис. XVII.68). Блок питания типа БПН-1002 можно включать также на напряжения 100 и 127 *в*. Для поддержания постоянного уровня выходного напряжения во вторичных обмотках предусмотрены ответвления, выведенные на плиту трансформатора к переключателям *1*—*6* (рис. XVII.69).

В зависимости от соединения мостов (последовательного или параллельного) на выходе блока можно получить выпрямленное напряжение 110 или 220 *в*.

При плавном увеличении тока в первичной обмотке и отсутствии нагрузки на выходе феррорезонанс в блоках типа БПТ-1002 наступает при числе ампер-витков первичной обмотки трансформатора 840 ± 100. Для регулирования тока начала феррорезонанса во вторичной обмотке насыщающегося трансформатора и обмотке дросселя предусмотрены ответвления. Зависимость намагничивающей силы надежной работы блока от сопротивления нагрузки при постоянном выходном напряжении приведена на рис. XVII.70.

Таблица XVII.31

Выходное напряжение блоков типа БПТ-1002

Номинальное напряжение выхода, *в*	Сопротивление нагрузки, *ом*	Выходное напряжение, *в*
110	∞ 10	⩽130 ⩾ 90
220	∞ 40	⩽260 ⩾180

Величины выходного напряжения при протекании тока 10 *а* по всем секциям первичной обмотки трансформатора блока приведены в табл. XVII.31.

Блок питания типа БПТ-1002 выдерживает в течение 5 *сек* протекание через всю первичную обмотку трансформатора тока 50 *а* при нагрузке 10 *ом* для номинального напряжения выхода 110 *в* и при нагрузке 40 *ом* — для номинального напряжения выхода 220 *в*. Блок питания в длительном режиме работы при отсутствии нагрузки

Таблица XVII.32

Технические данные блоков питания типа БПН-1002

Показатель	Входное напряжение, *в*: 95	100	110	127
Напряжение питания, *в*:				
110% $U_{вх}$	104	110	121	140
85% $U_{вх}$	80	85	93,5	108
Число витков вторичных обмоток	115	105	95	83
Положение переключателей на плите трансформатора (рис. XVII. 69)	*г*	*в*	*б*	*а*
Выходное напряжение, *в*:				
$U_{ном.вых} = 110$ *в*, $R_{нагр} = \infty$	⩽140			
$U_{ном.вых} = 110$ *в*, $R_{нагр} = 5$ *ом*	⩾ 80			
$U_{ном.вых} = 110$ *в*, $R_{нагр} = 10$ *ом*	⩾86			
$U_{ном.вых} = 220$ *в*, $R_{нагр} = \infty$	⩽280			
$U_{ном.вых} = 220$ *в*, $R_{нагр} = 20$ *ом*	⩾160			
$U_{ном.вых} = 220$ *в*, $R_{нагр} = 40$ *ом*	⩾172			

выдерживает протекание по первичной обмотке трансформатора токов, не превышающих токов наступления феррорезонанса, и после наступления феррорезонанса — 9,5 *а* при полном числе витков первичной обмотки трансформатора блока. Длительно допустимый ток нагрузки блока составляет 7 *а* для номинального напряжения выхода 110 *в* и 3,5 *а* — для номинального напряжения выхода 220 *в*.

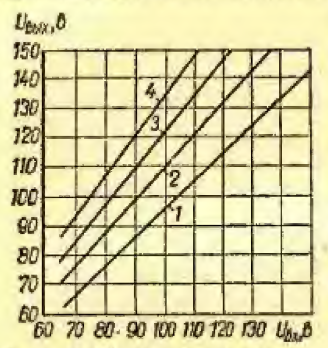


Рис. XVII.71. Зависимость выходного напряжения блока типа БПН-1002 без нагрузки от напряжения питания:

1 — W_2 = 83 витка; *2* — W_2 = 95 витков; *3* — W_2 = 105 витков; *4* — W_2 = 115 витков.

Величины выходного напряжения блока типа БПН-1002 при питании симметричным трехфазным напряжением приведены в табл. XVII.32. Зависимость выходного напряжения блока типа БПН-1002 без нагрузки от напряжения питания приведена на рис. XVII.71.

Потребление блока типа БПН-1002 при номинальном входном напряжении составляет не более 25 *ва* на фазу без нагрузки. В длительном режиме работы блок питания допускает включение на напряжение, равное 110% номинального входного напряжения, при этом ток нагрузки не должен превышать 6,4 *а* для номинального напряжения выхода 110 *в* и 3,2 *а* для номинального напряжения выхода 220 *в*.

Блоки питания серии БП-1001

Принципиальные схемы блоков питания серии БП-1001 приведены на рис. XVII.72 и XVII.73. В отличие от блоков серии БП-1002 блоки имеют дополнительные обмотки для включения полупроводниковых стабилизаторов напряжения. Выпрямительные мосты собраны из селеновых шайб. Блоки рассчитаны на мощность 500—1200 *вт* в кратковременном режиме. При подключении к различным трансформаторам тока число витков первичной обмотки трансформатора блока БПТ-1001 выбирают совершенно аналогично выбору числа витков для блока БПТ-1002 по табл. XVII.30 и формуле (XVII.21). Вольтамперные характеристики блока БПТ-1001 почти совпадают с характеристиками блока БПТ-1002. Для номинальных напряжений выхода этого блока 110 и 220 *в* положение перемычек на плите приведено на рис. XVII.67; положение перемычек на плите при включении блока БПН-1001 на напряжения входа 110, 220 и 380 *в* приведено на рис. XVII.68.

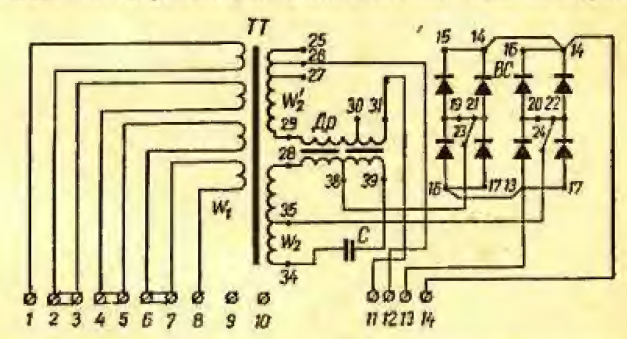


Рис. XVII.72. Принципиальная схема блока питания типа БПТ-1001:

зажимы *1*, *8* — вход; зажимы *13*, *14* — основной выход; зажимы *11*, *12* — дополнительный выход. Номинальное напряжение выхода 110 *в*.

Феррорезонанс в блоках типа БПТ-1001, как и в блоках БПТ-1002, наступает при числе первичных ампервитков 840 ± 100 (синусоидальность тока достигается питанием от линейного напряжения с регулированием тока реостатом). Момент наступления феррорезонанса определяется по резкому броску напряжения на выходе блока.

Величины среднего напряжения на выходе блока питания БПТ-1001 при протекании тока 10 *а* по всем секциям первичной обмотки приведены в табл. XVII.33.

Таблица XVII.33

Средние выходные напряжения, *в*, блока питания типа БПТ-1001

Сопротивление, *ом*	Основной выход, зажимы выхода блока *13—14*	Дополнительный выход, зажимы выхода блока *11—12*
Номинальное напряжение выхода блока 110 *в*		
∞	⩽145	33±3
10	⩾ 75	28±3
20	⩾ 90	30±3
Номинальное напряжение выхода блока 220*в*		
∞	⩽290	33±3
10	⩾150	28±3
20	⩾180	30±3

Нагрузка подключается на время не более 5 *сек*; выходное напряжение измеряется прибором магнитоэлектрической системы. Величина напряжения на дополнительном выходе регулируется отпайками на дополнительной вторичной обмотке трансформатора и дополнительной обмотке дросселя.

Таблица XVII.34

Выходные напряжения, *в*, блока питания типа БПН-1001 (на зажимах *7*, *8*, *9* подводимое напряжение 110, 220, 380 *в*)

Сопротивление нагрузки на основном выходе, *ом*	Основной выход		Дополнительный выход	
	$U_{ном.вых}$ = 110 *в*, перемычки *11—12*, *13—14*	$U_{ном.вых}$ = 220 *в*, перемычка *12—13*	$U_{ном.вых}$ = 110 *в*	$U_{ном.вых}$ = 220 *в*
∞	⩽145	⩽290	33±3	33±3
10	⩾ 80	—	28±3	—
20	⩾ 90	—	30±3	—

Допустимые токи блока БПТ-1001 со стороны входа такие же, как и для блока БПТ-1002. Длительно допустимый ток на основном выходе блока БПТ-1001 по условиям работы выпрямителей при номинальном напряжении выхода 110 *в* составляет 2,4 *а* и при напряжении 220 *в* —1,2 *а*. Длительно допустимый ток на дополнительном выходе блока 3 *а*.

Величины выходного напряжения блока типа БПН-1001 при питании симметричным трехфазным напряжением приведены в табл. XVII.34.

При номинальном входном напряжении у блока типа БПН-1001 потребление составляет не более 25 *ва* на фазу без нагрузки. Блок питания в длительном режиме допускает включение на напряжение, равное

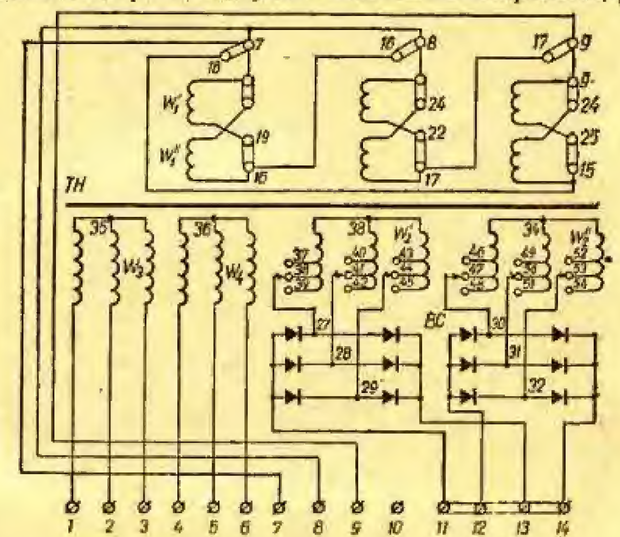


Рис. XVII.73. Принципиальная схема блока питания типа БПН-1001:

зажимы *7, 8, 9* — вход; зажимы *11, 14* — основной выход; зажимы *1, 2, 3, 4, 5, 6* — дополнительный выход. Номинальное напряжение входа и выхода 110 *в*.

110% номинального входного напряжения; длительно допустимый ток на основном выходе блока по условиям работы выпрямителей при напряжении выхода 110 *в* составляет 3,2 *а*; при напряжении 220 *в* — 1,8 *а*; на дополнительном выходе — 3 *а* на фазу.

Зарядное устройство типа УЗ-401

Зарядное устройство типа УЗ-401 предназначается для заряда конденсаторов в нормальном режиме работы, энергия которых используется для действия отключающих катушек выключателей (короткозамыкателей, отделителей). Принципиальная схема зарядного устройства приведена на рис. XVII.74.

Зарядное устройство состоит из трансформатора напряжения *ТН* с однополупериодным выпрямителем на вторичной стороне. Для ограничения зарядного тока последовательно с выпрямителем включено сопротивление R_2. Параллельно первичной обмотке *ТН* включено реле минимального напряжения *РН*, предотвращающее разряд заряжаемой емкости через обратное сопротивление выпрямителей при понижении напряжения питания до 70—80% или до его полного исчезновения. Для

сигнализации наличия зарядного напряжения, а также контроля исправности выпрямителей, конденсаторных батарей используется поляризованное реле *РП*. Вибрацию подвижной системы устраняют путем вклю-

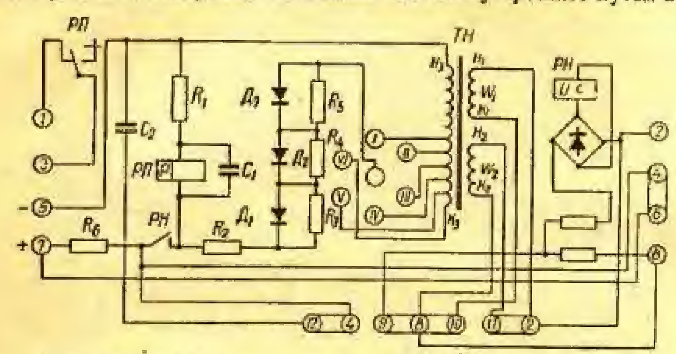


Рис. XVII.74. Принципиальная схема зарядного устройства типа УЗ-401:

клеммы *2, 8* — вход устройства; клеммы *5, 7* — выход устройства.

чения параллельно катушке реле *РП* емкости C_1. В случае пробоя заряжаемых конденсаторов или выпрямителей зарядного устройства термическую устойчивость зарядного устройства повышают включением дополнительного сопротивления R_6.

Зарядное устройство предусматривает включение заряжаемых конденсаторов как по схеме с контактным разделением соединительных цепей между зарядным устройством и батареей заряжаемых конденсаторов, так и по схеме с диодным разделением цепей. В последнем случае в схему зарядного устройства вводится сглаживающая емкость C_2. Для включения зарядного устройства на номинальные напряжения 110 или 220 *в* предусмотрена возможность переключений на первичной обмотке трансформатора напряжения и в *РН* (рис. XVII.74).

Наладка устройства УЗ-101, помимо внешнего осмотра и проверки изоляции, сводится к выбору отпайки вторичной обмотки трансформатора, настройке *РН* и проверке поляризованного реле *РП*. Выбор отпаек на вторичной обмотке трансформатора выполняют в зависимости от величины напряжения на входе при напряжении заряда конденсаторов 385—400 *в* в соответствии с табл. XVII.35. Выходное напряжение должно измеряться вольтметром с внутренним сопротивлением 1000—2000 *ом/в*.

Проверка и регулировка *РН* проводится в соответствии с методикой, описанной в настоящей главе для реле серии РН-50. Уставка реле принимается равной 70—80% номинального напряжения на входе устройства.

Реле *РП* должно срабатывать при напряжении не выше 70% $U_н$, подведенном к первичным обмоткам трансформатора *ТН*, и иметь коэффициент возврата не менее 0,25. После срабатывания реле не должно вибрировать. Междуконтактный зазор реле *РП* должен быть не менее 0,4 *мм*.

Время заряда конденсаторов емкостью 80 *мкф* до напряжения 320 *в* должно быть не более 0,6 *сек* при сопротивлении $R_6 = 0$ и не более 3,6 *сек* при сопротивлении $R_6 = 4$ *ком*.

Таблица XVII.35

Выбор отпаек вторичной обмотки трансформатора зарядного устройства типа УЗ-401

Напряжение входа, *в*	Контактное разделение цепей ($C_1 = 0$; перемычка *12—4* снята)		Диодное разделение цепей ($C_1 = 0{,}5$ *мкф*; перемычка *12—4* установлена)	
	$R_в = 0$ (перемычка *4—6* установлена)	$R_в \approx 4$ *ком* (перемычка *4—6* снята)	$R_в = 0$ (перемычка *4—6* установлена)	$R_в \approx 4$ *ком* (перемычка *4—6* снята)
90	VI	—	V	V
95	V	—	IV	IV
100	IV	VI	III	III
105	III	V	II	II
110	II	IV	I	I

Таблица XVII.36

Экспериментальные значения емкостей конденсаторов, необходимых для срабатывания электромагнитов отключения и реле

Аппарат	Тип привода или реле	Провод катушки электромагнита отключения: Диаметр, *мм*	Провод катушки электромагнита отключения: Число витков	Необходимая емкость срабатывания, *мкф*
Выключатель нагрузки	ПРА-17	0,15	3220	40
Отделитель	ШПО, ШППО			50
Короткозамыкатель	ШПК			50
Выключатель ВМП-10, ВМГ-133, ВМ-35	ПП-61 ППМ-10	0,27	10 000	50
Выключатель МГГ-10, ВМ-35	ПС-10 ПЭ-2	0,35	1700	100
Реле промежуточное	РП-255 РП-231 РП-211	— — —	— — —	3 (на срабатывание и удержание в течение 1 *сек*)
Реле промежуточное двухпозиционное	РП-352	—	—	2 (на каждую сторону срабатывания)

Величина емкости конденсаторов определяется типом привода выключателя. Так, блоки конденсаторов типа БК-401 емкостью 40 *мкф* предназначены для приводов типов ППМ, ПП, РБА и т. п.; блоки типа БК-402 емкостью 80 *мкф* — для приводов типов ПС-10, ПЭ-2, ПЭ-11 и т. п.; блоки типа БК-403 емкостью 200 *мкф* — для приводов ПС-30, ПЭ-3 и т. п. Указанные блоки конденсаторов имеют три зажима для использования в схемах с диодным и контактным разделением цепей; в последнем случае один из зажимов блока не используется.

Потребная емкость конденсаторов может быть определена из выражения

$$C = k\frac{2A}{U_C^2}\,10^6\ [мкф], \qquad (XVII.22)$$

где k — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5—1,8; A — энергия, необходимая для срабатывания электромагнита, *дж*; U_C — напряжение на обкладках конденсатора, *в*.

Для определения энергии, необходимой для действия привода, измеряют потребляемую мощность и время срабатывания отключающего механизма.

Потребляемая мощность измеряется ваттметром при заторможенном положении якоря. Измеренная мощность примерно вдвое превышает действительную. Время измеряется электрическим секундомером и примерно вдвое превышает время, в течение которого требуется приложение энергии для подъема якоря. Таким образом, расчетная энергия определяется по формуле

$$A = \frac{Pt}{4}\ [дж], \qquad (XVII.23)$$

где P — мощность, измеренная ваттметром; t — измеренное секундомером время.

Для надежного срабатывания электромагнита необходимо соблюдение условия

$$t \geqslant t_{ср}, \qquad (XVII.24)$$

где t — время разряда конденсатора,

$$t = \frac{T}{2} = 2\pi L\sqrt{\frac{C}{4L - R^2C}}\ [мсек]. \qquad (XVII.25)$$

Величина R^2C весьма мала, ею можно пренебречь. Тогда

$$t = \pi\sqrt{LC}\ [мсек], \qquad (XVII.26)$$

где R, L, C — параметры электромагнита и конденсатора (единицы измерения соответственно — *ом*, *гн* и *ф*).

В табл. XVII.36 приведены экспериментальные значения емкостей, необходимых для срабатывания электромагнитов отключения (включения) и реле на 220 *в* постоянного тока при разрядном напряжении 400 *в*.

Проверка схем релейной защиты

Проверка взаимодействия реле и других элементов схемы защиты

Проверка взаимодействия элементов схемы позволяет убедиться в том, что монтаж оперативных цепей защиты выполнен правильно, без отступлений от проекта и требований ПУЭ. Взаимодействие при новом включении проверяют при подаче в оперативные цепи напряжения, равного 100 и 80% номинального. Величину поданного напряжения следует периодически контролировать и при необходимости корректировать.

Взаимодействие реле в схеме проверяют при замыкании и размыкании вручную контактов реле, наблюдении за работой схемы и сопоставлении фактической последовательности работы реле с последователь-

ностью, предусмотренной проектом. В сложных случаях перед проверкой целесообразно составлять подробную ее программу.

При проверке взаимодействия реле и других элементов схемы контролируют:

1) последовательность работы элементов схемы от пусковых до выходных реле;

2) выдержку времени при действии на отключение или включение выключателя;

3) взаимодействие реле при имитации всех возможных видов короткого замыкания и перехода одного вида короткого замыкания в другой;

4) действие блокировок;

5) переключения в цепях тока и напряжения;

6) работу схемы при всех возможных положениях рубильников, переключателей и других коммутационных аппаратов, изменяющих схему, выдержку времени и т. п.;

7) отсутствие обходных цепей в схеме защиты на панели при имитации перегорания предохранителей;

8) надежность одновременного отключения или включения нескольких выключателей, если это предусмотрено проектом.

При применении переменного оперативного тока проверка взаимодействия проводится в зависимости от источника оперативного тока. Для блоков питания имитируются все возможные случаи питания их от тока и напряжения. При использовании зарядного устройства проверка осуществляется при подаче на вход зарядного устройства напряжения, равного 100 и 80% номинального.

Проверка защит первичным и вторичным током от постороннего источника

Методика проверки токовых цепей и цепей напряжения приведена в гл. XI.

Правильность сборки схемы токовых цепей дифференциальных защит может быть проверена путем пропускания тока, равного 20—40% номинального, от нагрузочного устройства по первичным цепям двух фаз (рис. XVII.75). При этом измеряют токи в цепях циркуляции и в цепях реле дифференциальной защиты *РД* при проведении опыта для всех трех пар фаз (*AB*, *BC*, *CA*).

У генераторов и двигателей для увеличения токов обмотки статора следует шунтировать. Если обмотки статора не шунтируют, необходимо закоротить обмотку ротора во избежание появления на ее выводах высокого напряжения при проведении опыта и, чтобы предотвратить перегрев ротора, ограничить длительность отсчета показаний приборов. Эту проверку можно совместить с измерением сверхпереходных реактансов синхронных генераторов и двигателей (см. гл. VII).

При достаточно мощном источнике низкого напряжения ток I, протекающий по первичным цепям, можно определить по следующим формулам:

для генераторов и двигателей

$$I = \frac{U_{н.и} I_{ном}}{X_2 U_{ном}} \sqrt{3}, \quad \text{(XVII.27)}$$

для линий

$$I = \frac{U_{н.и}}{2 Z_{л.о} l}, \quad \text{(XVII.28)}$$

где $U_{н.и}$ — напряжение вспомогательного источника (обычно трансформатора собственных нужд); X_2 — реактивное сопротивление обратной последовательности в относительных единицах; $Z_{л.о}$ — полное сопротивление 1 *км* линии, *ом*; l — длина линии, *км*.

Такую же проверку можно осуществить при одновременной подаче трех фаз, если это возможно. При этом средние значения тока находят из следующих выражений:

для генераторов и двигателей

$$I = \frac{U_{н.и} I_{ном}}{X_2 U_{ном}}; \quad \text{(XVII.29)}$$

для линий

$$I = \frac{U_{н.и}}{\sqrt{3} Z_{л.о} l}, \quad \text{(XVII.30)}$$

где $U_{н.и}$ — подводимое линейное напряжение.

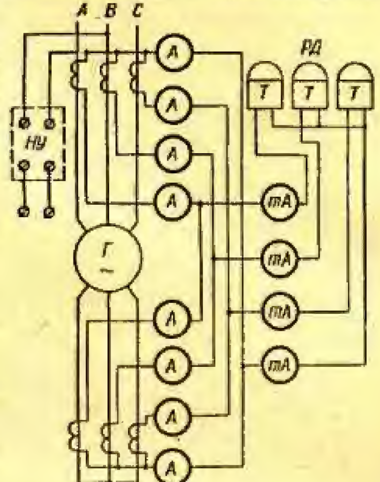


Рис. XVII.75. Схемы проверки цепей дифференциальной защиты генератора первичным током.

Для проверки правильности сборки токовых цепей дифференциальных защит силовых трансформаторов первичным током трехфазную закорачивающую перемычку устанавливают со стороны низкого напряжения, а питание подают со стороны высокого напряжения. При этом обязательна одновременная подача напряжения трех фаз.

Величина тока, протекающего по обмоткам трансформатора со стороны питания, определяется как

$$I = \frac{U_{н.и} I_{ном}}{e_к U_{ном}}, \quad \text{(XVII.31)}$$

где $I_{ном}$ и $U_{ном}$ — номинальные ток и напряжение той обмотки трансформатора, в которую подается испытательное напряжение $U_{н.и}$; $e_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора в относительных единицах.

После установления тока в обмотках трансформатора и цепях дифференциальной защиты проверяют правильность сборки схемы при измерении тока в плечах и в реле, а также при снятии векторной диаграммы токов.

Чтобы не собирать дважды громоздкую схему, проверку первичным током срабатывания защит целесообразно проводить непосредственно вслед за проверкой правильности сборки схемы токовых цепей.

Перед проверкой защиты первичным током восстанавливают полностью всю схему защиты и включают выключатели, на которые действует защита. От нагрузочного устройства подают ток в первичные обмотки трансформатора тока, питающие защиту; его увеличивают до момента срабатывания защиты на отключение выключателя. В зависимости от схемы токовых цепей и защиты первичный ток подают поочередно на каждый или на два-три последовательно включенных трансформатора тока. Если мощность нагрузочного устройства недостаточна для полу-

чения тока срабатывания, защита может быть испытана вторичным током согласно схеме на рис. XVII.76. Такая схема позволяет учесть погрешность трансформатора тока намагничиванием его сердечника при протекании тока срабатывания.

Для определения первичного тока срабатывания защиты при использовании описанного выше метода суммарный ток, протекающий от нагрузочного устройства при срабатывании, следует умножить на коэффициент трансформации трансформатора тока.

Рис. XVII.76. Схема проверки срабатывания реле защиты вторичным током.

Защита синхронных генераторов может быть проверена при пониженной скорости вращения в процессе прогрева паровой турбины для ускорения испытательных работ.

Возбуждение при пониженной скорости может быть осуществлено либо от постороннего источника постоянного тока (резервного возбудителя и т. п.), либо от собственного возбудителя с помощью устройства компаундирования.

При проверке защит необходимо следить за тем, чтобы ток компаундирования не превышал допустимого. Закорачивающую перемычку устанавливают вне зоны дифференциальной защиты.

При испытании необходимо принять меры против отключения выключателя, расположенного между перемычкой и генератором, и против включения противопожарного устройства. Ток короткого замыкания должен быть достаточным для проведения измерений. При проверке защит снимают векторные диаграммы, определяют величину тока в плечах защиты, тока небаланса и т. п.

Увеличивая ток короткого замыкания, доводят максимальную токовую защиту до срабатывания и выполняют при этом необходимые измерения. Аналогично проверяют защиту от перегрузки и действие всех токовых реле блокировок.

Затем токовые цепи с одной стороны продольной дифференциальной защиты отключают и закорачивают, защиту проверяют на срабатывание; аналогично поступают с токовыми цепями другой стороны.

Проверка защит рабочим током (током нагрузки)

При проверке защит рабочим током измеряются величины токов и напряжений, подводимых к реле, снимаются векторные диаграммы этих токов и напряжений, проводятся наблюдения за поведением реле при имитации различных режимов и повреждений (переключениями в токовых цепях и цепях напряжения), измеряются токи и напряжения небаланса, проверяется отстройка защит от переходных рабочих режимов (проверка отстройки дифференциальных защит и межфазных отсечек от бросков тока намагничивания силовых трансформаторов и пусковых токов электродвигателей производится при пятикратном включении трансформатора или двигателя и наблюдении за поведением реле). Выше при рассмотрении методики наладки различных типов реле и устройств приведены рекомендации по их проверке рабочим током.

Глава XVIII

ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Техника безопасности при выполнении испытательно-наладочных работ в электроустановках

Испытательно-наладочные работы, так же как и другие виды работ по электрооборудованию, должны выполняться в строгом соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок», выпущенными Министерством энергетики и электрификации СССР для потребителей электроэнергии, линий электропередачи, станций и подстанций.

К производству испытательно-наладочных работ (как и других работ в действующих электроустановках) допускаются лица, прошедшие в установленные сроки медицинское освидетельствование, знающие правила и инструкции по технике безопасности применительно к занимаемой должности или выполняемой работе, прошедшие обучение безопасным методам работы на рабочем месте под руководством опытного работника и проверку знаний в квалификационной комиссии с присвоением определенной квалификационной группы, обученные приемам освобождения пострадавшего от электрического тока и правилам оказания первой помощи пострадавшим. Ответственность за соблюдение правил техники безопасности при производстве работ несут руководитель бригады и все ее члены.

Помимо общих правил техники безопасности и правил использования и испытания защитных средств лицам, выполняющим пуско-наладочные работы, необходимо знание специальных правил, обусловленных правил, обусловленных спецификой этих работ.

Работы в цепях измерительных приборов, релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи

Для безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики, все вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) должны иметь постоянное заземление. При необходимости разрыва токовой цепи цепь вторичной обмотки ТТ должна быть предварительно закорочена на специально предназначенных для этого зажимах. При проверке полярности обмоток ТТ приборы должны быть надежно присоединены к зажимам вторичных обмоток до подачи импульса тока в первичную обмотку.

Шины первичных цепей ТТ нельзя использовать в качестве токоведущих цепей при выполнении сварочных и других работ; присоединение к зажимам ТТ вторичных цепей должно проводиться после полного окончания монтажа этих цепей.

При работах во вторичных цепях необходимо пользоваться специальным электротехническим инструментом с изолированными ручками: металлический стержень отверток должен быть изолирован от ручки до жала отвертки. При включенном основном оборудовании должны быть приняты меры против его случайного отключения. На панелях или вблизи места размещения релейной аппаратуры нельзя проводить работы, вызывающие сильное сотрясение этой аппаратуры, грозящее ложным действием реле.

При работах в цепях ТН с подачей напряжения от постороннего источника необходимо вынуть предохранители со стороны высшего и низшего напряжений и отключить автоматы от вторичных обмоток.

Проведение испытаний с подачей повышенного напряжения от постороннего источника тока

Испытания должны проводиться бригадами в составе не менее двух человек, из которых производитель работ должен иметь квалификационную группу не ниже IV, а остальные — не ниже III. Испытания должны проводить лица, прошедшие специальную подготовку и имеющие практический опыт проведения испытаний в действующих электроустановках. Не допускается одновременное проведение испытаний и других работ различными бригадами в пределах одного присоединения. Перед началом испытания необходимо проверить стационарное заземление корпусов испытываемого оборудования и надежно заземлить испытательную установку. Место испытаний, а также соединительные провода, находящиеся под испытательным напряжением, должны быть ограждены или у места испытания должен быть выставлен наблюдающий. Если соединительные провода, находящиеся под испытательным напряжением, расположены вне помещения электроустановки (коридоры, лестницы, проходы, территория), необходимо независимо от ограждения выставить охрану из одного или нескольких проинструктированных лиц, введенных в состав бригады, для предупреждения об опасности приближения или проникновения за ограждение. Лица, назначенные для охраны, могут покинуть свой пост только после получения ими команды от производителя работ. При испытаниях кабеля, противоположный конец которого расположен в закрытой и запертой камере или ячейке распределительного устройства, на дверях или ограждении должен быть вывешен плакат «Стой — высокое напряжение», а на приводах отключенных разъединителей — плакаты «Не включать — работают люди». Если двери этих ячеек или камер не заперты, либо испытанию подвергается кабель с разделанными на трассе концами, то помимо плакатов у дверей камеры или ячейки, огражденного места, где находятся разделанные концы кабеля, следует выставлять охрану из включенных в состав бригады лиц.

Провод, с помощью которого повышенное напряжение от испытательной установки подводится к испытываемому оборудованию, должен быть надежно закреплен с помощью промежуточных изоляторов, изолирующих подвесок и т. п., чтобы было исключено случайное приближение этого провода к находящимся под напряжением токоведущим частям электроустановки. Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220 *в* должно проводиться через коммутационный аппарат с видимым разрывом, в том числе через штепсельную вилку, расположенную у испытательной установки. При сборке испытательной схемы перед присоединением испытательной установки к сети 380/220 *в* на высоковольтный вывод установки должно быть наложено заземление при помощи специальной заземляющей штанги из изоляционного материала. Сечение заземляющего медного проводника должно быть не менее 4 *мм*². Перед подачей напряжения на испытательную установку необходимо: а) проверить, все ли члены бригады находятся на местах, нет ли посторонних людей; б) предупредить бригаду словами «подаю напряжение», после чего с вывода испытательной установки снять заземление и включением аппарата с видимым разрывом подать напряжение 380/220 *в*. С момента снятия заземляющей штанги вся испытательная установка, включая соединительные провода, считается под напряжением и производить какие-либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании запрещается.

По окончании испытаний производитель работ снижает напряжение испытательной установки до нуля, отключает аппарат, подающий напряжение от сети, заземляет вывод испытательной установки и сообщает об этом работникам бригады словами «напряжение снято». Только после этого можно пересоединить провода от испытательной установки или отсоединить их в случае окончания испытаний.

До испытания изоляции, а также после испытания необходимо разрядить испытываемое оборудование на землю и убедиться в полном отсутствии на нем заряда. Наложение и снятие заземления заземляющей штангой, подсоединение и отсоединение проводов от испытательной установки и испытываемого оборудования должны проводиться одним и тем же лицом и выполняться в диэлектрических перчатках.

Измерения мегомметром на напряжение до 2,5 *кв* могут проводить обученные лица с квалификационной группой не ниже III. Измерения сопротивления изоляции какой-либо части электроустановки можно проводить только тогда, когда эта часть отключена со всех сторон, в чем должно убедиться лицо, производящее измерения. Перед испытанием кабелей и воздушных линий напряжением выше 1000 *в* следует разрядить их, пользуясь диэлектрическими перчатками и галошами. Перед началом работы с мегомметром необходимо убедиться в отсутствии людей, производящих работы на испытываемом участке электроустановки, запретить находящимся вблизи установок прикасаться к токоведущим частям и, если нужно, выставить охрану.

После измерения мегомметром необходимо разрядить испытываемое оборудование на землю и убедиться в полном отсутствии на нем заряда.

Измерения переносными приборами и токоизмерительными клещами

Измерения переносными приборами и токоизмерительными клещами должны производиться двумя лицами, одно из которых должно иметь квалификационную группу не ниже IV, а второе — не ниже III. Для измерения должны применяться клещи с амперметром, установленным на их рабочей части. Применение клещей с вынесенным амперметром не допускается. Измерения следует проводить в диэлектрических перчатках и галошах (или стоя на изолирующем основании), держа клещи на весу. Запрещается нагибаться к амперметру при отсчете показаний, касаться приборов, сопротивлений, проводов и измерительных трансформаторов при производстве измерений. Измерения можно производить на участках шин, конструктивное выполнение которых исключает возможность электрического пробоя между фазами или на землю из-за уменьшения изоляционных расстояний за счет рабочей части клещей. На кабелях напряжением выше 1000 *в* измерения токоизмерительными клещами разрешаются только на изолированных жилах кабеля при расстояниях между ними не менее 250 *мм*.

Измерения переносными приборами в установках напряжением выше 1000 *в* производятся, как правило, через стационарные измери-

тельные трансформаторы. Допускается непосредственное измерение в установках выше 1000 *в* специально изготовленными для этой цели приборами. Присоединение и отсоединение переносных приборов, требующее разрыва электрических цепей, находящихся под напряжением до и выше 1000 *в*, должны проводиться при полном снятии напряжения.

Работы на выключателях и разъединителях

При выполнении работ на выключателях и разъединителях (отделителях, короткозамыкателях), соединенных с приводами, необходимо принимать меры против непредвиденного включения или отключения приводов другими лицами, а также самопроизвольного включения, отключения или расцепления их. При дистанционном управлении выключателями или разъединителями необходимо предварительно убедиться, что на них не работают люди. Помещения должны быть заперты, а на ограждениях вывешены предупредительные плакаты.

Опробование воздушных выключателей, осциллографирование их работы, а также другие работы, связанные с их включением и отключением, должны проводиться из специальных будок или других временных закрытых помещений, передвижных лабораторий, удаленных от крайнего полюса выключателя на расстояние не менее 10—15 *м*. Выключатель, на котором ведется наладка, следует ограждать канатом в радиусе 60—100 *м*, из огражденной зоны должны быть удалены люди.

Перед каждой операцией следует осмотреть выключатель, проверить, нет ли людей в огражденной зоне. Перед проведением работ на самом выключателе (регулировка, присоединение и отсоединение испытательных проводов) необходимо принять меры, полностью исключающие возможность срабатывания выключателя (снять рубильником оперативный ток, заклинить электромагниты управления, закрыть колпаками кнопки пневматического управления и др.).

Правила испытания защитных средств

Все изолирующие защитные средства, находящиеся в эксплуатации, кроме изолирующих подставок, должны периодически подвергаться электрическим испытаниям. Перед этим их подвергают тщательному наружному осмотру, при котором проверяются их исправность, состояние изоляционных поверхностей, наличие номера и т. п. Все испытания, как правило, должны проводиться переменным током с частотой 50 *гц* при температуре 15—20° С. Для испытаний защитных средств из резины можно использовать постоянный (выпрямленный) ток. Испытательное напряжение должно повышаться до полного значения постепенно, со скоростью, позволяющей следить за показаниями приборов. Начальное напряжение не должно превышать 50% полного испытательного напряжения.

Время приложения испытательного напряжения отсчитывается с момента установления полного испытательного напряжения.

При испытании напряжением выпрямленного тока величина испытательного напряжения должна быть равной 2,5-кратному значению испытательного напряжения, принимаемого при испытании переменным током. Продолжительность испытания та же, что и при переменном токе. При испытании полное напряжение прикладывается к изолирующей части защитного средства. При отсутствии источника напряжения, необходимого для испытания изолирующего защитного средства целиком, допускается испытание по частям. При этом изолирующая часть защитного средства делится на три-четыре участка; к каждому участку прикладывается часть указанного полного испытательного напряжения, пропорциональная длине и увеличенная на 20%.

Нормы и сроки электрических испытаний защитных средств приведены в табл. XVIII.1.

Испытания изолирующих штанг, изолирующих и токоизмерительных клещей

При испытаниях этих защитных средств должны быть соблюдены следующие условия: а) один электрод присоединяется к рабочей части, а другой — к границе захвата, выше упора, где для этой цели создается металлический контакт; б) при фарфоровой изоляции напряжение прикладывается непосредственно к обоим концам фарфорового изолятора.

Во время приложения испытательного напряжения следует внимательно следить за состоянием изолирующего защитного средства. Если будут замечены разряды, пробой или перекрытие, защитное средство бракуется. Токи, протекающие через изделие, не нормируются.

Пробой отмечается по показаниям вольтметра и амперметра, и изделие считается пробитым, если наблюдается резкое снижение напряжения или возрастание тока.

После окончания испытания напряжение снижается, затем трансформатор отключается и заземляется. Сразу после этого испытываемые объекты ощупываются рукой. Если обнаруживается местный нагрев испытуемой части защитного средства, его бракуют.

Испытания указателей напряжения

При наружном осмотре указателя напряжения перед испытанием проверяется внешнее состояние прибора, отсутствие трещин на лаковом покрове трубок, целость ламп, защитного стекла, исправное состояние наконечников.

Испытательное напряжение прикладывается к изолирующей части указателя между ограничительным кольцом и границей прибора.

Если токоведущие части прибора скрыты в изоляционной трубке, являющейся продолжением изолирующей части указателя, на поверхности трубки у границы собственно указателя устанавливается временный металлический хомутик для присоединения провода испытательной схемы. Состояние испытуемой изолирующей части указателя следует контролировать как указано выше.

Собственно указатель, имеющий, кроме крюка, вывод и от конденсаторов (например, у УВН-80), должен испытываться в течение 1 *мин* напряжением 20 *кв*, приложенным к крюку и к выводу. При этом проверяется исправность неоновой лампы и конденсаторов.

Кроме указанных испытаний, определяется напряжение отчетливо видимого свечения неоновой лампы. Оно должно быть не выше 25% номинального напряжения электроустановки, в котором они допущены к применению.

Указатели не должны давать свечения от соседних цепей того же напряжения, находящихся под напряжением и отстоящих от испытываемой цепи на расстояния:

в электроустановках напряжением

до 6 *кв* — 150 *мм*	110 *кв* — 1500 *мм*
10 *кв* — 250 *мм*	154 *кв* — 1800 *мм*
10—35 *кв* — 550 *мм*	220 *кв* — 2300 *мм*.

Таблица XVIII.1

Нормы и сроки электрических испытаний защитных средств

Защитные средства	Напряжение электроустановки, *кв*	Испытания после изготовления и капитального ремонта			Периодические испытания и осмотры в эксплуатации				
		Напряжение	Продолжительность, *мин*	Ток, протекающий через изделие, *ма*	Напряжение	Продолжительность, *мин*	Ток, протекающий через изделие, *ма*	Периодичность испытаний	Периодичность осмотров
Изолирующие штанги (кроме измерительных)	Ниже 110	3 $U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	$3U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	1 раз в 2 года	1 раз в год
Изолирующие штанги (кроме измерительных)	110—220	3 $U_ф$	5	—	$3U_ф$	5	—	1 раз в 2 года	1 раз в год
Измерительные штанги	Ниже 110	3 $U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	$U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	В сезон измерений 1 раз в 3 мес., но не реже 1 раза в год	—
Измерительные штанги	110—330	3 $U_ф$	5	—	$3U_ф$	5	—	В сезон измерений 1 раз в 3 мес., но не реже 1 раза в год	—
Измерительные штанги	500	2,5 *кв* на 1 *см* изолирующей части, но не менее 3 $U_ф$ на всю штангу	5	—	2,2 *кв* на 1 *см* изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на всю штангу	5	—	В сезон измерений 1 раз в 3 мес., но не реже 1 раза в год	—
Изолирующие клещи	1—35	3 $U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	$3U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	1 раз в 2 года	1 раз в год
Изолирующие клещи	До 1	3 *кв*	5	—	2 *кв*	5	—	1 раз в 2 года	1 раз в год
Токоизмерительные клещи	До 10	3 $U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	$3U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
Токоизмерительные клещи	До 0,6	2 *кв*	5	—	2 *кв*	5	—	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
Указатели напряжения: изолирующая часть	Ниже 110	3 $U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	$3U_л$, но не менее 40 *кв*	5	—	1 раз в год	1 раз в мес.
	110—220	3 $U_ф$	5	—	$3U_ф$	5	—	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
собственно указатель, имеющий, кроме крюка, вывод от конденсаторов	До 220	20 *кв*	1	—	20 *кв*	1	—	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
Трубки с дополнительным сопротивлением для фазировки	2—6	6 *кв*	1	1,7—2,4	6 *кв*	1	1,6—2,4	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
	10	10 *кв*	1	1,4—1,7	10 *кв*	1	1,4—1,7	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
Указатели напряжения, работающие на принципе протекания активного тока	До 0,5	1 *кв*	1	—	1 *кв*	1	—	1 раз в год	Перед применением

Продолжение табл. XVIII.1

Защитные средства	Напряжение электроустановки, *кв*	Испытания после изготовления и капитального ремонта			Периодические испытания и осмотры в эксплуатации				
		Напряжение	Продолжительность, *мин*	Ток, протекающий через изделие, *ма*	Напряжение	Продолжительность, *мин*	Ток, протекающий через изделие, *ма*	Периодичность испытаний	Периодичность осмотров
Изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением	Ниже 110	1,7 *кв* на 1 *см* изолирующей части, но не менее $3U_л$ на все средство	5	—	1,5 *кв* на 1 *см* изолирующей части, но не менее $3U_л$ на все средство	5	—	1 раз в 6 мес.	Перед применением
Изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением	110 и выше	1,7 *кв* на 1 *см* изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на все средство	5	—	1,5 *кв* на 1 *см* изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на все средство	5	—	1 раз в 6 мес.	Перед применением
Инструмент с изолированными ручками	До 1	2,5 *кв*	1	—	2 *кв*	1	—	1 раз в год	Перед применением
Перчатки резиновые диэлектрические	До 1	3,5 *кв*	1	3,5	2,5 *кв*	1	2,5	1 раз в 6 мес.	Перед применением
Перчатки резиновые диэлектрические	Выше 1	9 *кв*	1	9	6 *кв*	1	6	1 раз в 6 мес.	Перед применением
Боты резиновые диэлектрические	Для всех напряжений	20 *кв*	2	10	15 *кв*	1	7,5	1 раз в 3 года	1 раз в 6 мес.
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	5 *кв*	2	2,5	3,5 *кв*	1	2	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
Коврики резиновые диэлектрические	До 1	5,5 *кв*	Протягивание со скоростью 2—3 *см/сек* между цилиндрическими электродами	3	3,5 *кв*	Протягивание со скоростью 2—3 *см/сек* между цилиндрическими электродами	3	1 раз в 2 года	1 раз в год
Коврики резиновые диэлектрические	Выше 1	20 *кв*	То же	20	15 *кв*	То же	16	1 раз в 2 года	1 раз в год
Изолирующие подставки	До 10	40 *кв*	1	—	—	—	—	—	1 раз в 2 года
Изолирующие накладки:									
резиновые	До 1	5 *кв*	1	5	20 *кв*	5	—	1 раз в год	1 раз в год
жесткие	До 10	20 *кв*	5	—	3,5 *кв*	1	3,5	1 раз в 3 года	1 раз в год
Колпаки диэлектрические резиновые	До 10	10 *кв*	2	—	10 *кв*	1	—	1 раз в 3 года	1 раз в год

Примечания. 1. Для штанг и клещей, имеющих изолирующую часть, выполненную только на фарфоре, продолжительность испытания можно сократить до 1 *мин*. 2. Осмотры каждого защитного средства необходимо проводить перед его применением, но не реже сроков, указанных в графе периодических осмотров.

Испытание трубок с неоновой лампой указателей напряжения, применяемых для фазировки, следует проводить аналогично.

Испытательное напряжение для трубок с дополнительным сопротивлением устанавливается на напряжение

до 6 *кв* — 6 *кв*
до 10 *кв* — 10 *кв*.

Продолжительность испытания должна быть равной 1 *мин*. Напряжение прикладывается к крюку и к выводу сопротивления (металлический соединитель). Значение тока, протекающего при испытании через трубку с сопротивлением, не должно превосходить в начале испытания величин, указанных в табл. XVIII.1.

К концу испытания допустимо увеличение сопротивления не более чем на 40% и соответствующее уменьшение тока.

Гибкий проводник, соединяющий указатель напряжения с трубкой с дополнительным сопротивлением, испытывается напряжением 20 *кв* в течение 1 *мин*. Проводник опускается в ванну с водой, один вывод испытательного трансформатора соединяется с металлическим наконечником проводника, а другой присоединяется к корпусу металлической ванны или к электроду, опущенному в воду. Ток, проходящий через изоляцию, не должен превышать 20 *ма*.

После испытания дополнительного сопротивления следует произвести испытание на фазировку комплекта, состоящего из указателя напряжения и трубки с дополнительным к нему сопротивлением. Испытание должно проводиться по двум схемам. Первая схема — случай согласного включения на сфазированное напряжение. Испытание имеет целью проверить, не будет ли возникать свечение неоновой лампы при подобном включении.

Крюки установленных на изоляторах указателя напряжения и трубки с дополнительным сопротивлением соединяются между собой и присоединяются к выводу испытательного трансформатора; второй вывод трансформатора заземляется.

Вторая схема — случай встречного включения на несфазированное напряжение.

Испытание имеет целью установить наименьший порог зажигания неоновой лампы при подобном включении. Крюк указателя напряжения присоединяется к одному из выводов трансформатора, ко второму выводу трансформатора присоединяется крюк трубки с дополнительным сопротивлением, соединенной с указателем напряжения в комплект. При испытаниях во время подъема напряжения фиксируется напряжение, при котором возникает отчетливо видимое свечение неоновой лампы. Величина этого напряжения в зависимости от схемы включения дополнительного сопротивления приведена в табл. XVIII.2.

Таблица XVIII.2

Величины напряжений отчетливо видимого свечения

Фазировка на напряжении, *кв*	Напряжение зажигания (порог свечения) при согласном включении, *в*, не ниже	Напряжение отчетливо видимого свечения при встречном включении, *в*, не выше
2	2500	500
3	3800	750
6	7600	1500
10	12 700	2750

Испытания указателей напряжения, работающих на принципе протекания активного тока

Для испытания повышенным напряжением изолирующие рукоятки по всей длине до упоров покрываются фольгой. Провод, соединяющий рукоятки, опускается в сосуд с водой таким образом, чтобы вода покрывала весь провод до ручек приборов. Один провод от источника питания напряжением 1000 *в* подводится к одному из наружных контактов — щупов указателя напряжения, второй провод подводится к фольге, покрывающей рукоятки, и к воде.

Определение порога зажигания проводится с помощью вольтметра класса 0,5 со шкалой до 150 *в*. Порог зажигания неоновой лампы должен быть не выше 90 *в*. Ток, потребляемый токоискателем, не должен превышать 2 *ма*. Проверка на отсутствие свечения неоновой лампы от напряжения одной фазы производится путем прикосновения одним из щупов к проводу, находящемуся под напряжением 500 *в*. Неоновая лампа при этом не должна светиться.

Испытания инструмента с изолированными ручками

При испытании изолированные ручки инструмента погружаются в воду таким образом, чтобы над водой выступала металлическая часть и часть изолированной ручки высотой около 1 *см*. Один электрод присоединяется к металлической части инструмента и к выводу испытательного трансформатора, второй электрод опускается в сосуд с водой и присоединяется к другому заземленному выводу испытательного трансформатора.

Испытания диэлектрических перчаток, бот и галош

Диэлектрические перчатки, боты и галоши при испытании погружаются в сосуд с водой, которая заливается также и внутрь этих изделий. Уровень воды как снаружи, так и внутри должен быть на 5 *см* ниже верхнего края перчаток или отворотов бот. Для галош, установленных горизонтально, уровень воды должен быть на 2 *см* ниже верхнего края борта. Выступающие края испытуемых изделий должны быть сухими. Один электрод опускается в сосуд вне испытываемого изделия и соединяется с одним из выводов испытательного трансформатора, второй вывод трансформатора заземлен. Другой электрод опускается внутрь изделия и через миллиамперметр соединяется с землей. Могут быть применены и другие схемы испытаний.

При испытании защитных средств из резины переменным током должны быть измерены токи, протекающие через изделие. В случае резких колебаний стрелки прибора или показаний его, превышающих предельно допустимые, защитное средство бракуется. При испытании напряжением выпрямленного тока величина тока, протекающего через изделие, не нормируется.

Испытания диэлектрических ковриков

Диэлектрические резиновые коврики испытываются путем пропускания их со скоростью 2—3 *см/сек* между цилиндрическими электродами. Для измерения токов, протекающих через коврик, в электрическую цепь включается миллиамперметр. Пробой коврика фиксируется по вольтметру.

Можно испытывать коврики в металлической ванне, наполненной водой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажанов С. А. Испытания оборудования электроустановок. «Энергия», М., 1968.
2. Вавин В. Н. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. «Энергия», М., 1967.
3. Вавин В. Н. Трансформаторы тока. «Энергия», М., 1966.
4. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. «Энергия», М., 1966.
5. Гаврилов И. В. Наладка систем управления ртутными преобразователями. «Энергия», М., 1968.
6. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Госэнергоиздат, М., 1960.
7. Гизила Е. П. Расчет устройств автоматики энергосистем. «Техніка», К., 1969.
8. Голубев А. И. Быстродействующие автоматические выключатели. «Энергия», М., 1964.
9. Дементьев В. С. Как определить место повреждения в силовом кабеле. «Энергия», М., 1966.
10. Дроздов А. Д., Платонов В. В. Реле дифференциальных защит элементов энергосистем. «Энергия», М., 1968.
11. Елфимов В. М. Реле направления мощности. «Энергия», М., 1966.
12. Елфимов В. М. Векторные диаграммы в релейной защите. «Энергия», М., 1967.
13. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. «Энергия», М., 1968.
14. Забокрицкий Е. И. Снятие характеристик намагничивания трансформаторов тока при повышенном напряжении.— Промышленная энергетика, 1967, 4.
15. Кукуевицкий Л. И., Крупицкий А. Ю., Саков А. Д., Смирнова Т. В. Справочник реле защиты и автоматики. «Энергия», М., 1968.
16. Крикун И. В. Испытания заземляющих устройств. «Энергия», М., 1967.
17. Мусаэлян Э. С. Наладка электрооборудования электростанций и подстанций. «Энергия», М., 1967.
18. Объем и нормы испытания электрооборудования. «Энергия», М., 1964.
19. Порудоминский В. В. Трансформаторы с переключением под нагрузкой. «Энергия», М., 1955.
20. Правила устройства электроустановок. «Энергия», М., 1966.
21. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. «Энергия», М., 1968.
22. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. «Энергия», М., 1969.

23. Сидлик Л. З. Измерения при наладке воздушных выключателей. «Энергия», М., 1965.
24. Справочник по полупроводниковым диодам и транзисторам. Под ред. Горюнова Н. П. «Энергия», М., 1968.
25. Справочник по электроустановкам промышленных предприятий, т. III. «Энергия», М., 1965.
26. Тун А. Я. Наладка контакторно-релейной аппаратуры и тормозов. «Энергия», М., 1964.
27. Тун А. Я. Наладка бесконтактной аппаратуры электроприводов. «Энергия», М., 1964.
28. Тун А. Я., Иванов А. О. Наладка электрических машин электроприводов. Госэнергоиздат, М., 1963.
29. Урин В. Д. Наладка магнитных усилителей. «Энергия», М., 1967.
30. Шафирович Я. В. Эксплуатация и ремонт пружинных, грузовых и ручных автоматических приводов высоковольтных выключателей. Госэнергоиздат, М., 1963.
31. Штерн В. И. Испытания масляных выключателей 6—35 *кв* и приводов к ним. «Энергия», М., 1969.

СОДЕРЖАНИЕ

ВАСИЛЬЕВ СЕРГЕЙ ЕФИМОВИЧ, ЗАБАРСКИЙ БОРИС МАРКОВИЧ, ЗАБОКРИЦКИЙ ЕВГЕНИЙ ИОСИФОВИЧ, ХОЛОДОВСКИЙ БОРИС АБРАМОВИЧ

Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики

Редактор *Т. К. Ременник*. Художественный редактор *В. М. Тепляков*. Оформление художника *В. Г. Самсонова*. Технические редакторы *М. А. Притыкина, Н. П. Рахлина*. Корректор *Л. М. Тищенко*

Сдано в набор 24/II 1971 г. Подписано к печати 14/XII 1971 г. БФ 27773. Зак. № 1-531. Тираж 95 000. Бумага № 2. $84 \times 108^1/_{32}$. Условных печатн. листов 32,76. Учетно-издат. листов 39,76. Цена 2 руб. 9 коп.

Издательство «Наукова думка», Киев, Репина, 3.

Киевский полиграфический комбинат Комитета по печати при Совете Министров УССР, ул. Довженко, 3.